

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована система виявлення направленого
лазерного випромінювання

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Лаврищук Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тини Є.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Фриз М.Є.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Лаврищука, Юрійя, Олеговича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система виявлення направленого лазерного випромінювання

Керівник роботи кандидат технічних наук, доцент кафедри КС Тиш Євгенія Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема

2. Схема електричнопринципова

3. Блок схема алгоритму роботи

4. Модель системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Пилипець М.І., д.т.н., професор кафедри МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>21.02–02.03</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Аналіз вимог до системи</i>	<i>03.03–04.03</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Проектування, реалізація програмної і апаратної частини</i>	<i>21.04–02.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>01.06–05.06</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>02.06.–15.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>9.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>27.06</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)*Лаврищук.Ю.О.*

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Тини Є.В.*

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лаврищук Ю.О. Комп'ютеризована система виявлення направленого лазерного випромінювання: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютеризована система , лазерне випромінювання, моніторинг, мікроконтролер.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему сповіщення про направлене лазерне опромінення, проведено аналіз готових рішень військового призначення що дозволило створити вимоги до майбутнього пристрою

Проектна частина містить розробу алгоритмів визначення кута опромінення з урахуванням навколишньої світимості для точного визначення кута опромінення, апаратна частина реалізована на STM32. Програмна частина реалізована на с++, Отримані результати тестування показують високу точність системи та стійкість до завад.

ANNOTATION

Lavryshchuk Y.O. Computerized system for detecting directed laser radiation: work for a bachelor's degree: specialty 123 - computer engineering. Ternopil: Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj, 2025.

Keywords: computerized system, laser radiation, monitoring, microcontroller.

In the qualification work, a system for warning about directed laser irradiation was developed, an analysis of ready-made military solutions was carried out, which allowed to create requirements for the future device

The design part contains the development of algorithms for determining the angle of irradiation, taking into account the ambient luminosity to accurately determine the angle of irradiation, the hardware part is implemented on STM32. The software part is implemented in c++. The obtained test results show high accuracy of the system and resistance to interference.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	10
1.2 Розгляд готових рішень	12
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи сповіщення про лазерного опромінення	17
2.2 Обґрунтування обраного апаратного забезпечення для проектування комп'ютеризованої системи сповіщення.....	18
2.3 Побудова пристрою	25
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	29
3.1 Реалізація проєктних рішень	29
3.2 Основна логіка роботи	31
3.3 Написання коду та прошивка	32
3.4 Відладка та тестування пристрою	38
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..	43
4.1 Фізіологічний вплив факторів існування на життєдіяльність людини	43
4.2. Організація безпечного налагодження та випробувань STM32-системи ...	45
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
Додаток А Технічне завдання	

					<i>КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Комп'ютеризована система виявлення направленного лазерного випромінювання</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Лаврищук Ю.О</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Тиш Є.В</i>					
<i>Реценз.</i>		<i>Фриз М.Е.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						6	
					<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		

Додаток Б Лістинг Main.c

Додаток В Перелік елементів

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ARM – Advanced RISC Machine

CPU – Central Processing Unit

USB – Universal Serial Bus

СППО – Система сповіщення про опромінення

ОП – Операційний підсилювач

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі стрімкий розвиток електронних систем кардинально змінює підходи до автоматизації процесів та підвищує точність вимірювань у найрізноманітніших сферах – від робототехніки до оптичних досліджень. Фотосенсори залишаються однією з ключових складових таких систем: здатність аналізувати рівень освітлення та напрямок світлового потоку відкриває нові можливості для безконтактного моніторингу, безпеки й управління. Особливо актуальним є застосування фоточутливих елементів для детекції лазерного випромінювання, адже сучасні лазерні прилади використовуються не лише в наукових і медичних лабораторіях, а й у промисловості та оборонній галузі, де контроль за їхньою безпекою є критично важливим.

Ця робота буде присвячена розробці комп'ютеризованого пристрою, який на основі фотодіодів реалізує визначення напрямку лазерного джерела з кутом розгортання 360° . Головною метою виступає створення інтегрованого апаратно-програмного комплексу, що забезпечує оперативне вимірювання кута падіння випромінювання, адаптивну фільтрацію завад та інтуїтивне відображення результатів оператору в режимі реального часу.

Особлива увага приділялася вибору чутливих елементів і побудові сенсорної матриці так, щоб мінімізувати “сліпі” зони й забезпечити стабільну роботу навіть при значних змінах фонові освітленості й температури [2].

Буде розроблено готові рішення на основі методів детекції випромінювання. Особливу увагу буде приділено точності вимірювань зручності інтерфейсу та високій відмовостійкості пристрою. У фінальній частині наведено результати стендових і польових випробувань, обговорено практичні аспекти впровадження системи та окреслено перспективи її подальшого вдосконалення.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз технічного завдання

Будь яка комп'ютеризована система розробляється по схожому алгоритму, перший етап розробки включає аналіз готових рішень та дослідження принципів їх роботи. Даний етап має певну складність по причині відсутності частини документів по даній темі. Данна проблема пов'язана з військовим призначенням систем сповіщення про опромінення (СППО).

СППО необхідне для визначення напрямку джерела випромінювання, точне вимірювання напрямку потрібне в військових цілях оборони та протидії загрозам[3]. Особливу увагу під час проєктування варто підбору методів, які забезпечують точне вимірювання кута на 360 градусів. Це дозволяє сформулювати основні вимоги до системи, яка містить:

- точність визначення напрямку загрози;
- простий та зрозумілий інтерфейс;
- мінімальну затримку детекції та сповіщення користувача;
- високу відмовостійкість.

На основі аналізу формується концепція системи, яка включає визначення необхідних компонентів та їх взаємодії. Особливу увагу необхідно зосереджено на виборі методів для зчитування інтенсивності світла, розрахунку кута та представлення результатів у зручному для користувача вигляді [4]. Теоретичне обґрунтування вибору компонентів базується на аналізі їхніх технічних характеристик та можливостей.

Розробка алгоритмів включає створення методів зчитування даних із сенсорів, розрахунку кута за допомогою математичних моделей і нормалізації

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лаврищук Ю.О			Аналіз технічного завдання			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиш Є.В								10	
Реценз.		Фриз М.Е.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. Контр.		Луцик Н.С.									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

результатів. Передбачається реалізація фільтрації сигналів для зменшення впливу шумів. Логіка роботи системи забезпечує її точність і стабільність. Теоретична розробка програмного забезпечення базується на розроблених алгоритмах. Програма реалізує алгоритми зчитування даних, обробки сигналів та виведення результатів. Визначаються методи взаємодії з користувачем, наприклад, через кнопки або інші засоби управління.

Додатково, дослідження охоплює проектування способів відображення інформації. Теоретичний макет інтерфейсу розроблено для зручного отримання інформації про напрямок джерела світла, напруги з сенсорів та інші параметри.

Завдання дослідження включають Створення ефективного інструменту для детекції інфрачервоного випромінювання в діапазоні 800–1100 нм.

Ця розробка спрямована на впровадження технології, яка об'єднає точність, простоту використання та реальну користь для критично важливих галузей. Основна мета системи полягає у створенні рішення, що дозволить не лише ідентифікувати джерела ІЧ випромінювання, але й інтегрувати ці дані у системи автоматичного реагування чи аналізу.

Особлива увага приділяється реалізації інтуїтивного управління, що зробить систему доступною для широкого кола користувачів. Вона зможе забезпечити оперативний аналіз та візуалізацію даних у реальному часі, зберігаючи стабільність і точність роботи навіть у складних умовах[5].

Результатом реалізації стане система, здатна забезпечити ефективний аналіз даних і підтримувати широкий спектр завдань у різних сферах, таких як оборона та наукові дослідження.

Застосування цієї системи сприятиме інтеграції інноваційних рішень у важливі галузі, такі як оборона, автоматизація та дослідження. Завдяки адаптації до змінних умов та зручності у використанні, система стане ключовим інструментом для підвищення ефективності.

Завдяки такій системі користувачі зможуть оперативно отримувати інформацію про джерела випромінювання, що зробить проєкт важливим для

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

детекції роботи ворожих засобів вимірювання дальності та супроводження цілі бойової машини та позицій дислокації.

В КРБ буде дотримано всіх методичних вказівок до виконання роботи [1].

1.2 Розгляд готових рішень

У сучасній війні домінування на полі бою все частіше залежить не лише від вогневої сили, а й від здатності техніки уникати враження за рахунок інформаційної переваги. Одним із важливих інструментів у досягненні цієї переваги є системи сповіщення про опромінення[6]. Йдеться про технології, які виявляють направлену на об'єкт енергію — зокрема лазерне, інфрачервоне або радіолокаційне випромінювання — і в режимі реального часу інформують екіпаж про потенційну загрозу. Готові рішення для танків та літаків уже давно не є експериментальними системами майбутнього — вони активно застосовуються у війнах ХХІ століття та довели свою ефективність.

В основі таких систем лежить принцип раннього попередження, чим швидше бойова машина дізнається про те, що стала об'єктом виявлення або прицілювання, тим більше шансів уникнути ураження. У випадку з танками однією з найпоширеніших загроз є лазерне опромінення від далекомірів або систем наведення та супроводження керованих протитанкових ракет. У відповідь на такі дії система має або оповістити екіпаж, або автоматично запустити засоби протидії, димові гранати, які створюють аерозольну завісу та перешкоджають подальшому наведенню, також можливий варіант з пелингом цілі та її знищенням засобами ураження. Принципово важливо, що подібна відповідь має відбуватись швидше, ніж оператор ворожої зброї встигне завершити наведення та здійснити пуск.

Класичним прикладом реалізованої системи такого типу є американська AN/VVR-3 (рис. 1.1), яка встановлюється на бронетехніку Збройних сил США. Вона здатна виявити випромінювання в широкому спектрі довжин хвиль і точно визначити напрямок джерела, подаючи відповідний сигнал екіпажу. Цікаво, що

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при виявленні лазерного наведення система автоматично може ініціювати відповідь — наприклад, обернути вежу в напрямку загрози або активувати димову гранатометну установку.



Рисунок. 1.1 – Блок СППО AN/VVR-3

Схожі функціональні можливості реалізовані і в японській системі оповіщення про опромінення, що встановлювалася на танках Type 74. Танки цього типу, які були основою бронетанкових сил самооборони Японії з 1970-х років, у 1990-х отримали модернізацію, в ході якої було інтегровано лазерну систему попередження. Ця система мала датчики, розміщені по периметру башти, які виявляли лазерне випромінювання та сигналізували екіпажу про напрямок і рівень загрози. У деяких версіях система автоматично вмикала випуск димових гранат, що створювали щільну хмару перешкод для подальшого наведення ворога. На відміну від деяких західних аналогів, японське рішення було більш обмеженим функціонально, проте повністю відповідало оборонній доктрині країни, яка не передбачала активного ведення бойових дій за межами власної території.

Якщо ж звернутися до історичних прикладів, то ще в радянському військовому комплексі було закладено ідею раннього виявлення загрози за допомогою електромагнітного випромінювання. Одним із перших прикладів такої реалізації стала система "Берега" СПО-15, призначена для літаків, але принципово важлива в історії розвитку таких технологій. Ця система

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлювалася на широкому спектрі радянських винищувачів — МіГ-21, МіГ-23, МіГ-29, Су-27 та інших. Вона працювала в радіочастотному діапазоні та призначалася для виявлення активності ворожих радарів. Основною функцією

"Берези" було не лише можливість виявити факт опромінення, а й класифікувати джерело випромінювання (наприклад, станція цілевказання чи наведення ЗРК), а також визначити напрямок і, у загальних рисах, рівень загрози.

На приладовій панелі льотчика відображалися світлодіодні індикатори, які повідомляли про сектор (рис. 1.2), з якого надходить опромінення. Хоча система не мала автоматичного зв'язку з засобами протидії, її наявність значно підвищувала обізнаність пілота щодо ситуації в повітрі.



Рисунок 1.2 – Інтерфейс СППО-15 «Береза»

Проте розвиток технологій не зупиняється лише на лазерному чи радіолокаційному напрямі. У повітрі, де швидкість реагування ще критичніша, використовуються більш складні системи — зокрема комплекси раннього попередження про пуск ракет. Вони базуються на виявленні інфрачервоного або ультрафіолетового сліду, який залишається за працюючим двигуном ракети. Це особливо актуально для гелікоптерів, які є вразливими до портативних ЗРК із тепловими головками самонаведення.

У цьому контексті системи класу MAWS (Missile Approach Warning System) відіграють незамінну роль. Яскравим прикладом є американська система

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

AN/AAR-47, що встановлюється на багато типів літальних апаратів — від транспортних літаків до бойових гелікоптерів. Вона оснащена сенсорами (рис.1.3), які покривають усі напрямки простору навколо повітряного судна і можуть виявити запуск ракети ще до того, як її головка самонаведення захопить ціль. У такому випадку система миттєво подає сигнал пілоту або автоматично випускає теплові пастки (flares), змушуючи ракету втратити захоплення. У поєднанні з системами електронної боротьби це створює багаторівневу захисну оболонку навколо машини, що значно зменшує ймовірність ураження.



Рисунок 1.3 – Блок системи попередження
про ракетну загрозу AN/AAR-47

Не менш важливу роль відіграють радіолокаційні системи попередження — так звані RWR (Radar Warning Receivers). Вони є невід'ємною частиною комплексу самозахисту більшості бойових літаків. Такі системи здатні фіксувати не тільки факт опромінення, а й тип ворожого радара: чи це система далекого виявлення, чи РЛС наведення, чи активна головка ракети. Сучасні варіанти, як-от американська AN/ALR-67 або французька система SPECTRA, відображають ситуацію в реальному часі на дисплеї пілота та можуть автоматично запускати заходи протидії (рис. 1.4).

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 – Інтерфейс СПО AN/ALR-6

Готові рішення систем сповіщення про опромінення демонструють гарний рівень технічного виконання та можливостей. Вони вже давно стали необхідною умовою для збереження бойової ефективності техніки в умовах сучасного бою. У конфліктах останніх років, де застосовуються високоточні озброєння, виявлення опромінення є першим сигналом небезпеки, який дозволяє вижити та продовжити виконання бойового завдання. танки і літаки, обладнані такими системами, мають можливість успішно протидіяти небезпеці.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи сповіщення про лазерного опромінення

Для побудови необхідно визначити вимоги до апаратного забезпечення[7], СППО потребує:

- високопродуктивного мікроконтролер;
- чутливі фотодатчики;
- зрозумілий інтерфейс користувача.

Під час проєктування згідно розроблених пунктів було підібрано необхідний мікроконтролер та завантажено необхідне програмне забезпечення для роботи з мікроконтролером. Було розроблено структурну схему майбутнього пристрою (рис 2.1).

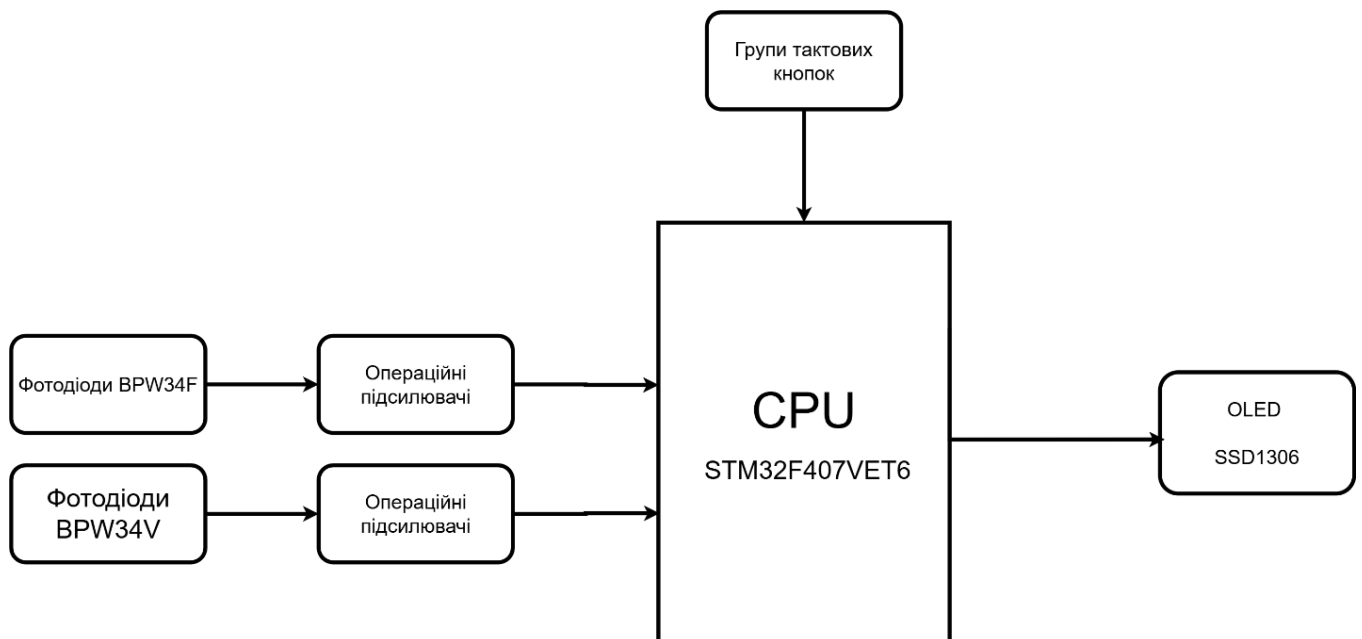


Рисунок 2.1 – Структурна схема комп'ютеризованої системи сповіщення про напрямлене лазерне опромінення

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Лаврищук Ю.О			Проектна частина				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Тиш Є.В									17	
Реценз.		Фриз М.Е.							ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. Контр.		Луцки Н.С										
Затверд.		Осуківська Г.М.										

При підборі мікроконтролера було враховано вимоги до пристрою, він повинен мати велику кількість ADC каналів, I2C шину та високу гнучкість в програмуванні, та високу швидкодію. Згідно всіх факторів та вимог було підібрано апаратні компоненти:

- Мікроконтролер STM32F407VET6 на платформі плати JL-32_FAVE V2.0 1509.
- Дисплей OLED дисплей SSD1306 з шиною I2C був обраний за невисоку ціну та наявність бібліотек для STM32 в репозиторію
- Фотодіод BPW34F ,був обраний за відповідність всім вимогам, він має чутливість в діапазоні 740-1100 нанометрів;
- Операційний підсилювач MCP 602 I/P є двоканальною мікросхемою в корпусі DIP8 що спрощує монтаж на макетну друковану плату, має низький діапазон напруги живлення 1-5В що дозволяє обійтись без окремого джерела живлення;

Згідно обраного мікроконтролера було обрано середовище програмування STM32CubeIDE 1.18.0, що є офіційною актуальною версією для сімейства мікроконтролерів STM32.

2.2 Обґрунтування обраного апаратного забезпечення для проєктування комп'ютеризованої системи сповіщення

Для побудови комп'ютеризованої системи сповіщення був обраний мікроконтролер STM32F407VET6, дане рішення обґрунтовується поєднанням високої обчислювальної потужності, широких можливостей роботи з аналоговими сигналами та розвиненої периферії.

Схему електричну принципову подано на рисунку 2.3.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

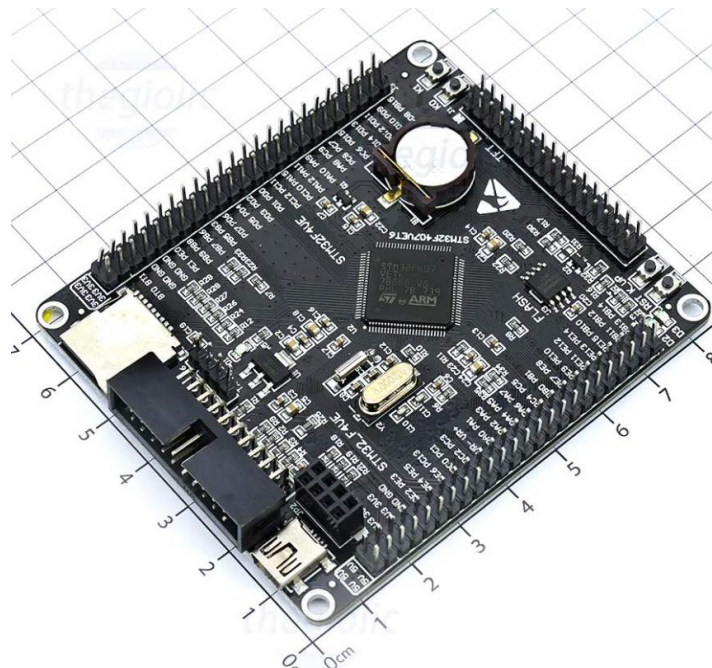


Рисунок 2.2 – STM32F407VET6 на платформі JL-32_FAVE V2.0 1509

Архітектура Cortex-M4 із апаратним блоком FPU і DSP дозволяє в реальному часі виконувати складні алгоритми фільтрації шумів і визначення кута напрямку випромінювання без затримок, тоді як два 12-розрядні АЦП із можливістю опитування до 16 каналів дають змогу напряму підключити вагому кількість фотодіодів без зовнішніх мультиплексорів.

Наявність пів мегабайта Flash-пам'яті та майже 200 КБ SRAM забезпечує достатній простір для коду обробки, зберігання графічних шрифтів OLED-дисплея і буферизації вимірювань. Інтерфейси I²C, SPI, UART та вбудований USB-FS спрощують підключення екрану, зовнішніх модулів та діагностику, а підтримка DMA і таймерів зводить навантаження на ядро й гарантує плавне оновлення інтерфейсу користувача. Окрім технічних переваг, STM32F407VET6 вирізняється доступністю в місцевих продавців та багатою екосистемою STM32CubeMX що прискорює розробку й тестування прототипу. У сукупності ці характеристики роблять його оптимальним вибором для надійної й гнучкої реалізації комп'ютеризованої системи сповіщення.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

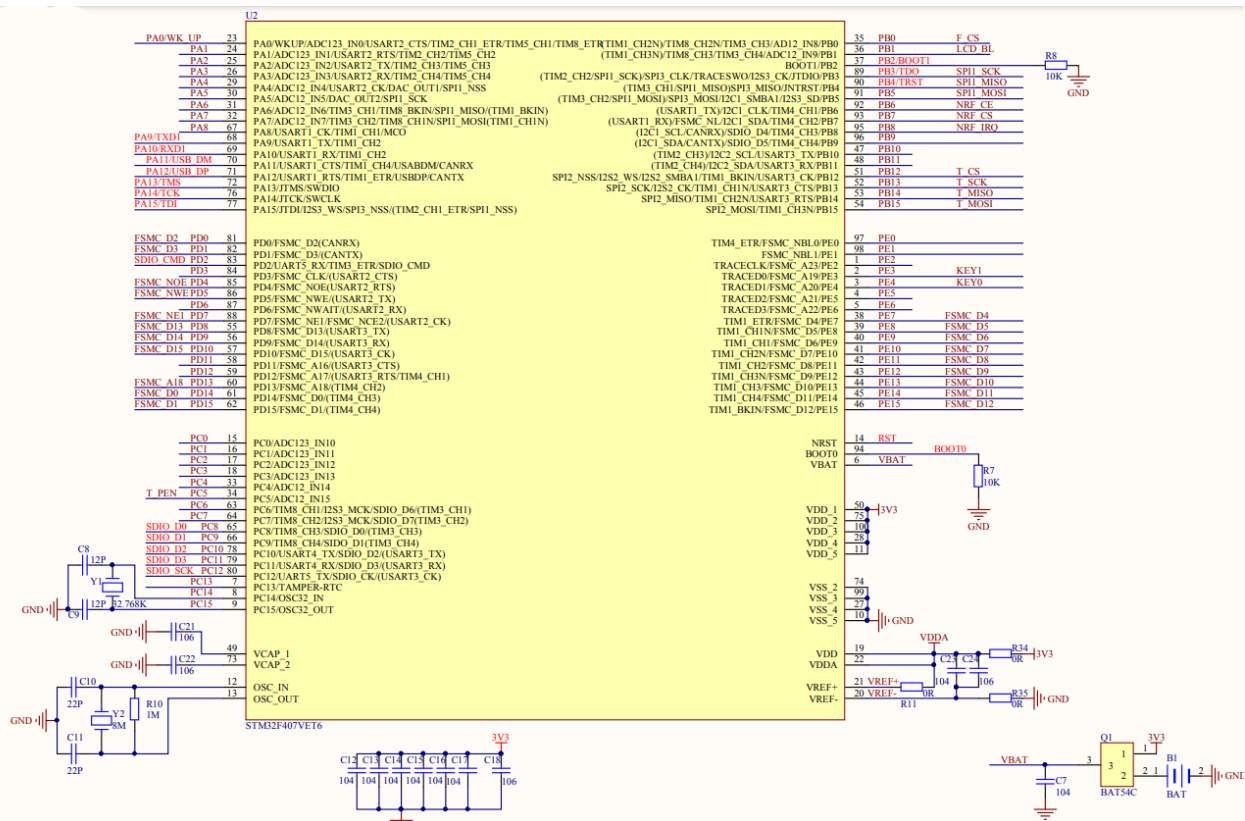


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова плати мікроконтролера STM32F407VET6[8]

OLED два сигнальні провідники, що значно спрощує трасування плати та знижує кількість зайраних портів мікроконтролера. Дисплей SSD1306 із інтерфейсом I2C було обрано тому, що він поєднує в собі мінімальні апаратні вимоги, невисоку вартість та готову програмну підтримку для STM32. Завдяки шині I2C дисплей використовує всього 2 порти на платі (рис. 2.4).

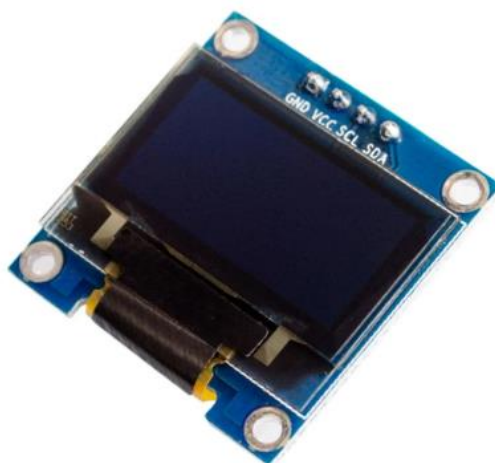


Рисунок.2.4 – OLED дисплей SSD 1306 з шиною I2C

Крім того, у відкритих репозиторіях STM32Cube та на GitHub доступні випробувані та добре документовані бібліотеки для SSD1306 [9]. Вони вже містять приклади ініціалізації шини, роботи з графічним буфером і виведенням тексту чи простих графічних елементів що спрощує роботу з дисплеєм. Комбінація доступна ціна, простота підключення, наявність готових бібліотек зробила SSD1306 з I2C оптимальним вибором для нашої системи сповіщення.

В якості інфрачервоної датчика було обрано фотодіод BPW34F[10]. Фотодіод було обрано через його високу чутливість в інфрачервоному діапазоні: спектральна характеристика пристрою в діапазоні 800–1100 нм з піковою чутливістю близько 900 нм. Кут сприйняття майже 100° ($\pm 50^\circ$ від нормалі) забезпечує рівномірне охоплення простору без додаткових оптичних вузьконаправлених елементів, а при інтенсивності 1 mW/cm^2 фотодіод формує струм 0,5–1 мА, що дозволяє чітко відокремити корисний сигнал від фону.

Час відгуку менше 100 нс та ємність переходу близько 70-100 пФ гарантують оперативне виявлення навіть коротких ІЧ-імпульсів для точного обчислення кута напрямку. Низький темновий струм до 2 нА мінімізує хибні спрацювання в умовах слабого освітлення, а широка комерційна доступність з можливістю замовлення тисячі одиниць фотодіодів, стабільність його

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

параметрів у різних партіях спрощують виготовлення однотипних каналів системи сповіщення.

Також було обрано фотодіод BPW34V[11] для допоміжної калібровки по освітленості середовища, його характеристики мають певні відмінності від BPW34F, а саме відрізняється діапазон чутливості, фотодіод з індексом «V» має діапазон чутливості в районі 400-900 нанометрів, що означає що їх діапазони чутливості пересікаються, для уникнення пересікання спектру потрібен спектральний фільтр.

В процесі аналізу наявних рішень було обрано спектральний фільтр з пропускним діапазоном до 650 нм (рис. 2.5), це дозволить відслідковувати напрям освітленості середовища уникаючи опромінення від цілі, що дозволить виділити опромінення основною групою датчиків.

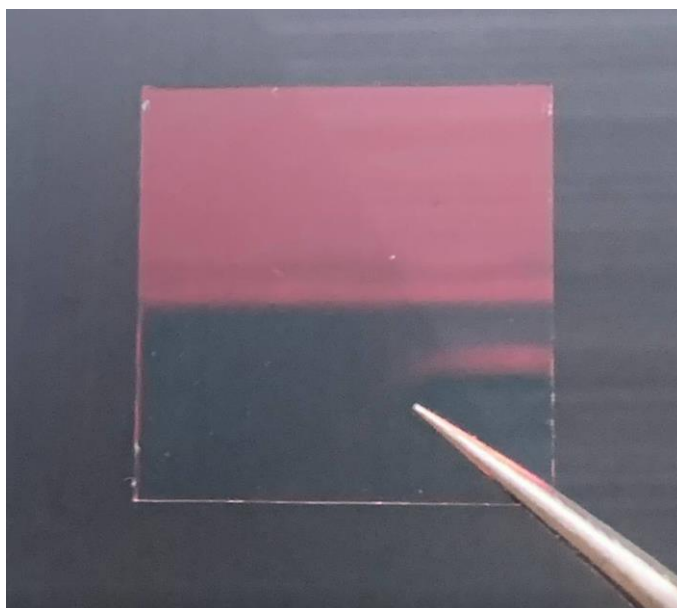


Рисунок.2.5 – Спектральний фільтр 650 нанометрів

Є два способи підключення фотодіодів: фотовольтаїчний та фотопровідниковий.

Розглянемо фотовольтаїчний режим. Фотодіод безсумно під'єднується до інвертуючого входу трансіомпедансного підсилювача, а його друга ніжка жорстко заземлюється. Неінвертуючий вхід тримається на нульовому

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

потенціалі, тому під дією світла PN-перехід генерує фотострум, який «витікає» в землю через резистор зворотного зв'язку. У результаті на виході підсилювача з'являється напруга пропорційна величині фотоструму, при цьому досягається мінімальний рівень власного шуму й висока лінійність перетворення (рис.2.6).

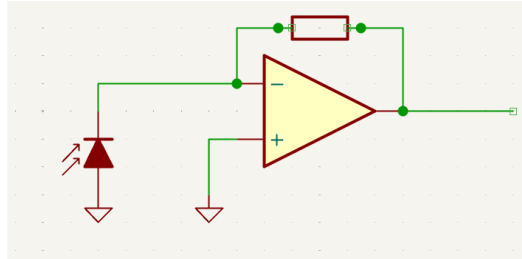


Рисунок 2.6 – Класична схема підключення фотодіода дотранспеденсіального підсилювача з нульовим зміщенням

Фотопровідниковий режим варто використовувати якщо необхідно вловлювати короткі ІЧ-імпульси. Схема підключення в режимі зворотнього зміщення наступна- на нього подається стабільна зворотна напруга через обмежувальний резистор, що знижує ємність переходу й прискорює відгук до наносекунд. Зворотній струм через діод зчитується з резистора навантаження або в складі трансімпедансного каскаду з мінімальними R_F/C_F для розширення смуги пропускання, але це ускладнює систему живлення та підвищує рівень темнового шуму (рис 2.8).

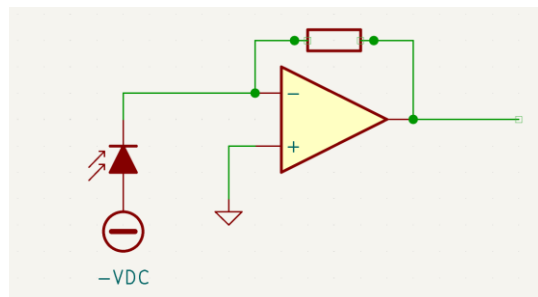


Рисунок 2.8 – Класична схема підключення фотодіода з транспеденсіальним підсилювачем в режимі зворотнього зміщення

У поточному проєкті, орієнтованому на точне визначення кута напрямку ІЧ-джерела, обрано фотовольтаїчний режим із трансімпедансним підсилювачем, оскільки саме він забезпечує достатню чутливість і лінійність у смузі до кількох кілогерц без додаткових джерел зсуву напруги, буде використана схема підключення (рис.2.7).

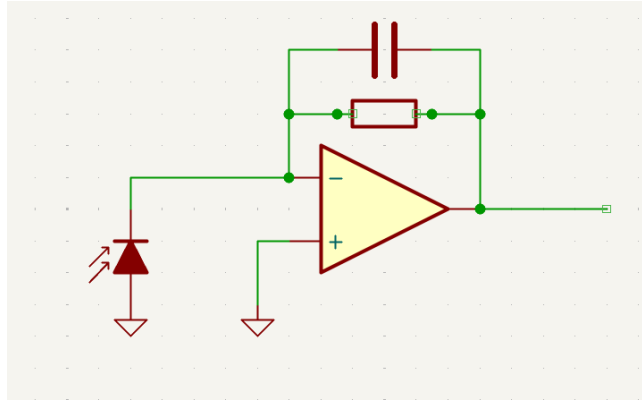


Рисунок 2.7 – Схема підключення фотодіода в фотовольтаїчному режимі з компенсаційним конденсатором

Для реалізації фотовольтаїчного трансімпедансного каскаду було обрано операційний підсилювач МСР602 (рис. 2.9). Його перевагою є живлення від одного джерела 3,3 В без потреби в додаткових зміщеннях, а також гарантія, що вхідні та вихідні сигнали завжди залишаються в межах 0...3,3 В, що дозволяє безпосередньо підключати їх до ADC мікроконтролера [12]. Низький вхідний струм зміщення (< 1 пА) забезпечує точне перетворення фотострумів мікроамперного рівня в напругу без додаткових шумових спотворень. З пропускнуою спроможністю близько 10 МГц і швидкістю наростання ≈ 7 В/мкс МСР602 здатен відстежувати коливання інтенсивності ІЧ-випромінювання в діапазоні до декількох десятків кілогерц. При струмі споживання лише ≈ 250 мкА на канал навіть масштабування до десяти каналів не створює надмірного навантаження на джерело живлення. Крім того, наявність у корпусі двох операційних підсилювачів спрощує трасування плати та зменшує загальну кількість компонентів у багатоканальній системі, а

широка доступність MCP602 на ринку гарантує простоту придбання комплектуючих.

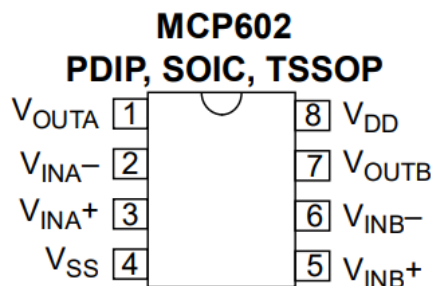


Рисунок 2.9 – Розпіновка ОП MCP602

Обв'язка трансіомпендансного каскаду побудована так, щоб перетворення фотоструму в напругу відбувалося лінійно, з мінімальним шумом та гарантованою стабільністю. Для цього в колі зворотного зв'язку було використано резистор 220 к Ω , що забезпечує перетворення фотоструму до мікроампер у вихідний розмах до 3,3 В, а паралельно йому підключено компенсаційний конденсатор близько 20 пФ. Саме ця ємність обмежує смугу пропускання каскаду до декількох десятків кілогерц, запобігаючи самозбудженню. Неінвертуючий вхід операційного підсилювача жорстко закріплено на потенціалі землі, що встановлює віртуальну «землю» в точці сумування, а фотодіод під'єднано безпосередньо до інвертуючого входу – це мінімізує паразитні ємності та опори в колі.

2.3 Побудова пристрою

Пристрій буде побудовано на друкованих макетних платах, це підвищить надійність пристрою та дозволить зібрати плати з парами датчиків в форму «пентагону». Пятикутна форма дозволить усунути мертві зони, кожна плата буде містити по два фотодіода BPW34F, вони дуть підключені згідно схеми на (рис 2.10).

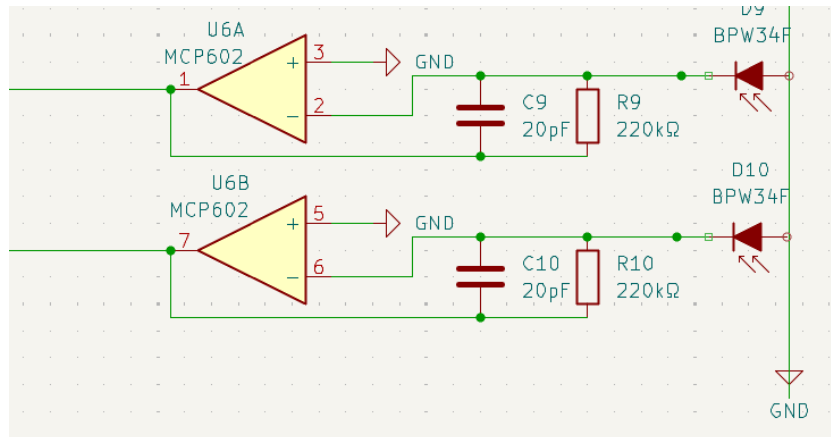


Рисунок 2.10 – Електричнопринципова схема підключення ОП

Спочатку здійснюється установка компонентів по технології DIP монтажу, при установці компонентів було приділено увагу куту встановлення фотодіодів відносно плати, після чого відбувається пропайка елементів, після пропайки компоненти з'єднуються згідно схеми за допомогою мідних залуджених провідників.

Після закінчення плати її було промито ізопропиловим спиртом за допомогою зубної щітки. Якщо не приділити очисці плати достатньо часу, то компоненти флюсу почнуть «натягувати» воду з повітря, що призведе до електролізу та руйнації пайки та компонентів, під час корозії пайка та доріжки буквально гниють, що виводить пристрій з ладу [13] (рис. 2.11).

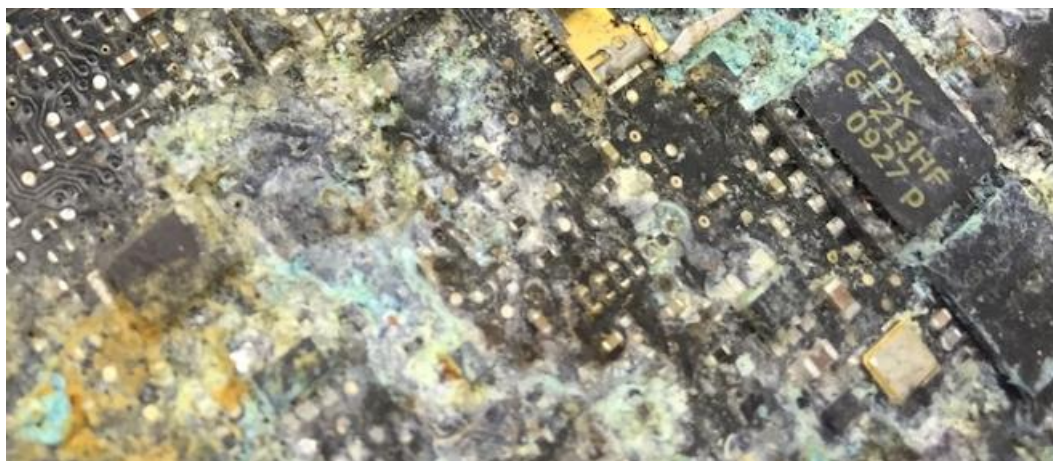


Рисунок 2.11 – Приклад наслідків корозії друкованої плати

По закінченню пайки плати, було перевірено роботу схеми. Перевірку було здійснено методом подачі живлення на плату та перевіркою наявності напруги на вихода ОП і відповідність напруги до освітленості світлодіода. Після підтвердження роботоздатності було розпаяно всі необхідні плати, 5 плат з фотодіодами зформовано в пятикутник (рис 2.12), підпаяно шини з виводами ADC1-10 згідно електричної схеми.

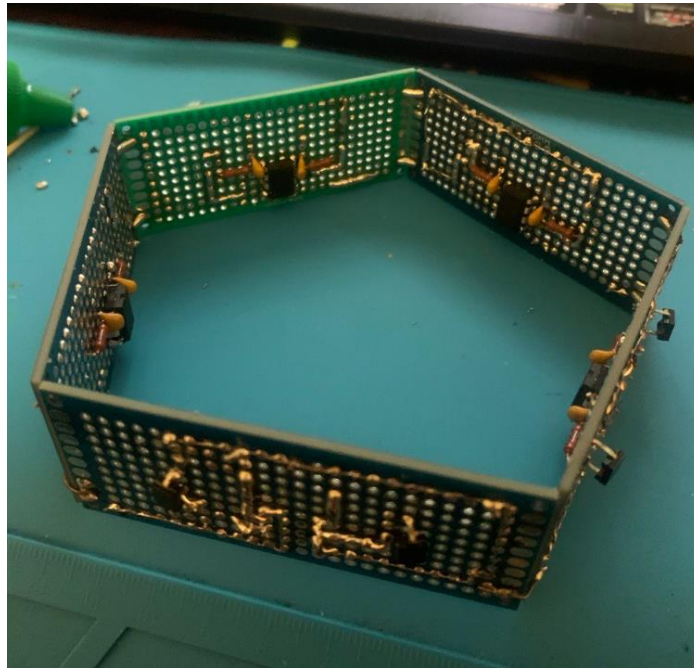


Рисунок 2.12 – Готовий набір плат визначення кута напрямку опромінення

Після побудови пятикутника, була розведена плата калібровочного набору фотодіодів та фільтр живлення схеми. Була розпаяна плата з калібровочною групою фотодіодів, після данного етапу була проведена повна збірка схеми.

В результаті отримано макет готовий до програмування та відладки (рис. 2.13).

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

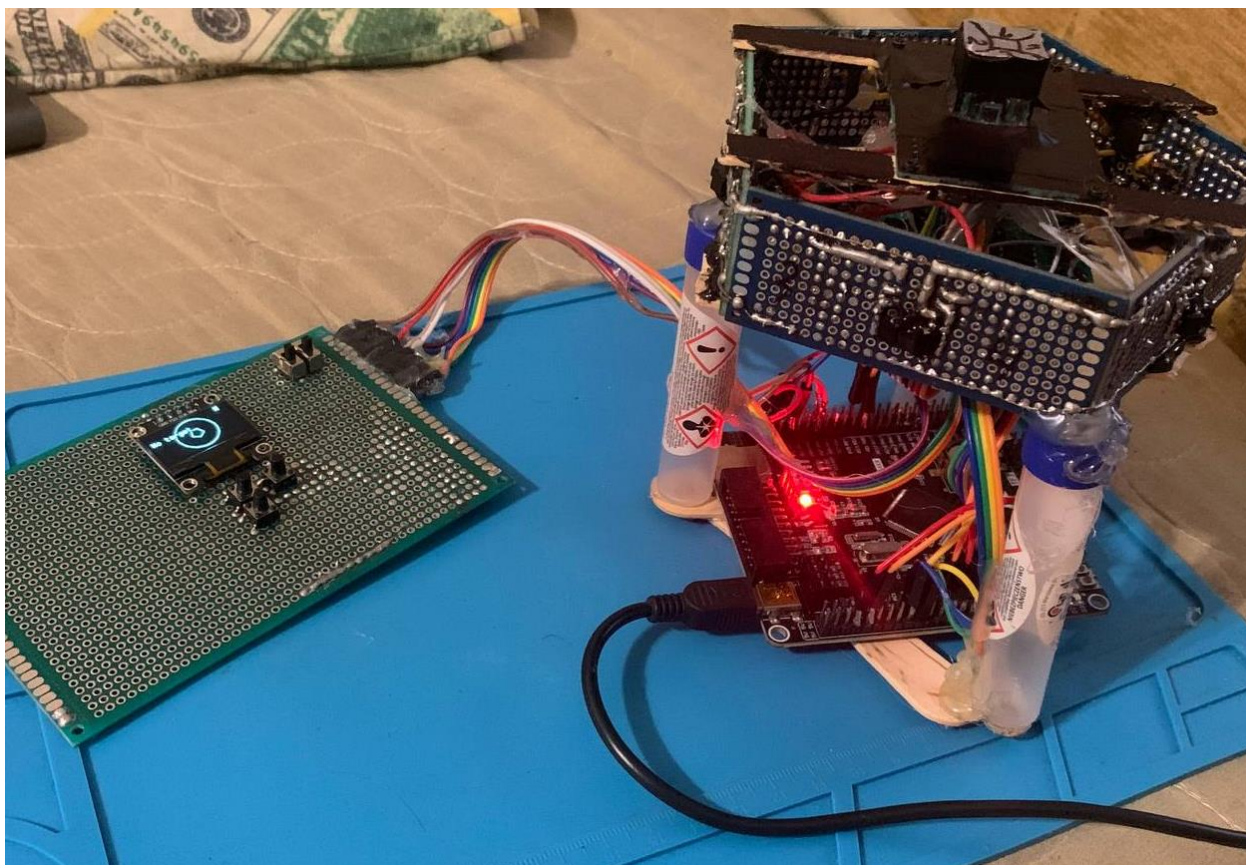


Рисунок 2.13 – Готовий пристрій без корпусу

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Реалізація проєктних рішень

Для роботи побудованої компютеризованої системи необхідно розробити та відкалібрувати код. Розробка коду буде виконана в середовищі STM32CubeIDE. Програмування буде здійснено на мові c++ [14].

Перед початком кодування необхідно визначити основні принципи архітектури та взаємодії модулів: весь функціонал поділяється на ініціалізацію периферії, зчитування сигналів, обробку даних, інтерфейс користувача та відображення результатів. Це дозволяє дотримуватися принципу єдиного обов'язку для кожного блоку й забезпечує зручність тестування та подальшого розширення.

Код буде зв'язувати апаратну периферію з обчислювальними модулями та інтерфейсом користувача. Функція `init_peripherals()` відповідатиме за конфігурацію всіх апаратних ресурсів: ADC1 для 10 фотодіодів обрахунку кута та фотодіодів калібровки, I2C1 для OLED SSD1306 зі швидкістю 400 кГц та три GPIO-кнопки в режимі INPUT_PULLUP для керування пристроєм

Обчислення напрямку сигналу відбуватиметься в два етапи:

1) Однопарний метод (`calculate_pair_angle(r, l)`) обчислюватиме кут напрямку для двох фотодіодів за формулою:

$$\text{angle} = 2 * \text{atan2f}(v_r - v_l, v_r + v_l) * (180.0f / \text{PI}).$$

2) Зважене усереднення (`calculate_target_angle(v)`) об'єднуватиме результати п'яти пар, використовуючи суму сигналів як ваги.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Практична частина		
Розроб.		Лаврищук Ю.О					
Перевір.		Тиш Є.В					
Реценз.		Фриз М.Є.					
Н. Контр.		Луцик Н.Є					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						29	
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

Відображення даних на OLED-дисплеї здійснюватиметься в двох основних режимах. У телеметрійному режимі користувач побачить перелік напруг, повернутих із фотодіодів і РС-датчиків, у вигляді послідовних рядків з можливістю прокрутки за допомогою апаратних кнопок. Це дозволить оперативно стежити за станом кожного каналу.

Радарний режим призначений для візуалізації напрямку основного джерела світла, твкож можливе відображення одночасно 2 і більше сигналів за допомогою керування кількістю видимих сигналів . Якщо інтенсивність сигналу всіх датчиків залишатиметься нижчою за встановлений поріг, екран відобразить повідомлення про відсутність джерела. Коли ж хоча б один фотодіод зафіксує сильнішу напругу, інтерфейс покаже коло, розділене на сектори, що відповідають групам датчиків, а також спрямований промінь, який вкаже орієнтовний напрямок максимального сигналу.

У циклі роботи прошивки відбуваються послідовні етапи, оновлення режиму «день/ніч» на основі середніх значень РС-датчиків, обробка вводу з кнопок для перемикання режимів та навігації, зчитування актуальних показників з усіх каналів, розрахунок кутового напрямку, відображення оновленого інтерфейсу та очікування фіксованого інтервалу часу. Такий підхід гарантує синхронне об'єднання апаратних показників і їх ефективну візуалізацію, забезпечуючи адаптивність до зовнішніх умов та зручність користування.

Кожен цикл роботи починається з процедури калібрування, що забезпечує адаптивність до змін освітлення. Після запуску пристрою та кожного переходу між режимами "день/ніч" дві групи сенсорів—фотодіоди та РС-датчики—виконують зчитування поточних значень, які зберігаються як фоновий рівень у спеціальних масивах. Усі подальші вимірювання коригуються відніманням цих базових значень. Завдяки такому підходу програмна частина точно відокремлює реальний сигнал від постійних фонових коливань, що мінімізує хибні спрацьовування та забезпечує стабільність вимірів за різних умов освітленості.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Основна логіка роботи

У циклі виконання програми здійснюються наступні кроки:

1. Визначення режиму освітлення. Раз на секунду зчитуються показники чотирьох калібрувальних фотодіодів (BPW34V). Якщо хоча б один датчик демонструє напругу вище порогу (0,05 В), встановлюється денний режим, інакше — нічний.

2. Калібрування датчиків. Під час першого запуску та при зміні режиму освітлення виконується збереження базових значень основних фотодіодів (BPW34F) функцією `calibrate_sensors`. У денному режимі зчитані значення виступають фоновою базою, а в нічному — базові значення обнуляються для підвищення чутливості.

3. Обробка користувацьких ввідних. Сигналів: стани трьох кнопок (Mode, Up, Down) обробляються з урахуванням затримки антидребезку. Кнопка Mode перемикає режими відображення (DISPLAY_METRICS, DISPLAY_ANGLE, DISPLAY_RADAR, DISPLAY_PC), Up/Down забезпечують навігацію в режимі метрик та ручне калібрування в режимі кута.

4. Зчитування даних АЦП. Всі десять основних каналів опитуються через функцію `read_ADC_value`, результати записуються в масив `adcValues`.

Відображення інформації. на екрані OLED в залежності від обраного режиму викликається відповідна функція:

- `draw_metrics` відображає сирі показники вольтажу з прокручування;
- `draw_angle` виводить кут падіння світла для першої пари фотодіодів і словесне позначення напрямку;
- `draw_radar` малює графічний радар із пунктирною лінією, що вказує напрямок джерела;
- `draw_pc_metrics` показує значення калібрувальних фотодіодів.

У верхньому правому куті постійно демонструється буква «D» або «N» для позначення денного чи нічного режиму.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз напряму базується на порівнянні сигналів правого та лівого фотодіодів у парі. Кут розраховується за формулою:

$$\theta = 2 * \arctan((V_R - V_L) / (V_R + V_L)).$$

де V – напруги на відповідних фотодіодах. Далі результат коригується з урахуванням геометричного розташування пари датчиків (`normal_angle[i]`). Для радарного відображення обирається пара з максимальним сумарним сигналом, після чого від центру кола проводиться пунктирна лінія в напрямку умовного джерела опромінення.

Денний режим. Фонова напруга віднімається із збережених базових значень, що дозволяє відфільтрувати постійне зовнішнє освітлення і виявити реальні відхилення.

Нічний режим. Оскільки фонове освітлення мінімальне, будь-яка напруга вище 0,05 В вважається ознакою активного джерела світла.

Цей механізм автоадаптації забезпечує стабільну роботу датчиків при різних рівнях освітленості.

3.3 Написання коду та прошивка

Для програмування STM32 потрібно створити проєкт в програмі STM32CubeIDE, налаштувати мікроконтролер, додати бібліотеки в проєкт, написати код та відладити його в процесі тестування

Було створено новий проєкт в STM32 CubeIDE, та налаштовано згідно інструкції постачальника програмного забезпечення[15]. Далі було налаштовано виводи мікроконтролера згідно розпіновці створеного прототипу (рис. 3.1)

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

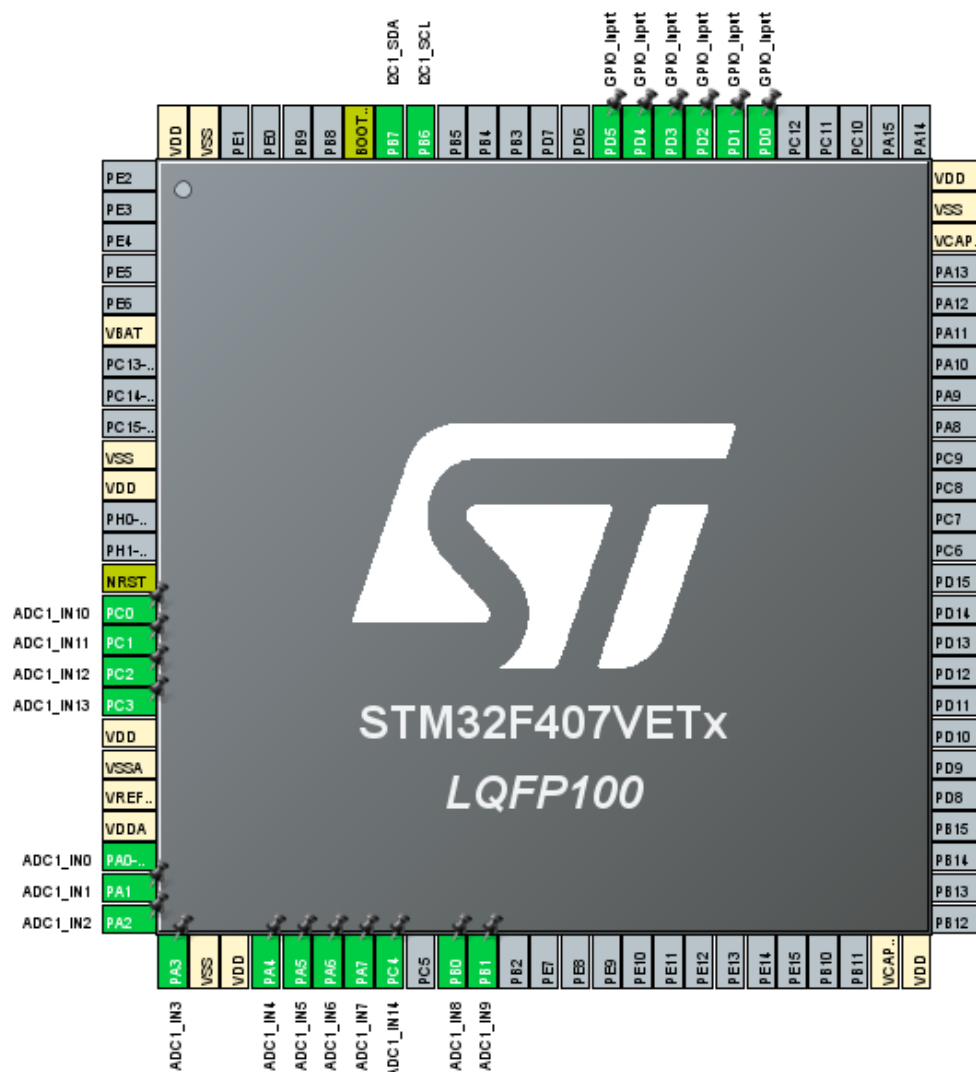


Рисунок 3.1 – Налаштовані порти мікроконтролера в програмі STM32CubeIDE

Після налаштування портів мікроконтролера в середовищі розробки, за допомогою вбудованого конфігуратора проекту, було згенеровано файли проекту. Після даного етапу було додано файли бібліотеки для роботи з OLED дисплеєм SSD1306 .

Після налаштування було написано код для роботи пристрою, код дозволить виконати поставлені задачі проекту з аналізу кута опромінення.

Програмне забезпечення системи складається з трьох основних модулів, кожен із яких відповідає за певний етап роботи.

У модулі ініціалізації відбувається початкове налаштування апаратури та програмних констант. Спершу підключаються заголовки HAL, бібліотека для OLED-дисплея і `<math.h>`, а через директиви `#define` задаються кількість каналів АЦП, порогові значення світла, затримки кнопок і математичні константи (рис. 3.2).

```

/* Includes -----
#include "main.h"
#include "stm32f4xx_hal.h"
#include "ssd1306.h"
#include "ssd1306_fonts.h"
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdbool.h>
#include <stdlib.h> // for abs

/* Defines -----
#define ADC_MAX_VALUE      4095.0f
#define VREF                3.3f
#define DISPLAY_LINES      4
#define NUM_CHANNELS        10
#define NUM_BOARDS          5
#define NUM_PC_SENSORS      4
#define DEBOUNCE_DELAY     123
#define PI                  3.14159265f
#define NO_SOURCE_THRESHOLD 50
#define CIRCLE_RADIUS       30
#define PENTA_RADIUS        10
#define MAX_LOCAL_ANGLE     60.0f
#define TARGET_FRAME_TIME_MS 33
#define DASH_LENGTH         3
#define GAP_LENGTH          2
#define DAY_NIGHT_THRESHOLD 0.05f

```

Рисунок 3.2 – Лістинг ділянки коду підключення бібліотек та констант

Далі оголошуються `typedef enum` для режимів роботи («день/ніч», режими відображення) та `typedef struct` для зберігання даних калібрування й параметрів візуалізації (рис. 3.3).

```

typedef enum {
    MODE_DAY,
    MODE_NIGHT
} LightMode;

typedef enum {
    DISPLAY_METRICS,
    DISPLAY_ANGLE,
    DISPLAY_RADAR,
    DISPLAY_PC,
    NUM_DISPLAY_MODES
} DisplayMode;

typedef struct {
    uint32_t base_value[NUM_CHANNELS];
    uint32_t ambient_pc[NUM_PC_SENSORS];
} CalibrationData;

ADC_HandleTypeDef hadc1;
I2C_HandleTypeDef hi2c1;
static bool calibrated = false;
static LightMode currentLightMode = MODE_DAY;
static DisplayMode currentDisplayMode = DISPLAY_METRICS;
static CalibrationData calibData;
static bool needsCalibration = true;
static int numRadarLines = NUM_BOARDS;
static float center_x[NUM_BOARDS], center_y[NUM_BOARDS], normal_angle[NUM_BOARDS];
static const uint32_t pcChannels[NUM_PC_SENSORS] = {ADC_CHANNEL_11, ADC_CHANNEL_12, ADC_CHANNEL_13, ADC_CHANNEL_14};
static const uint32_t adcChannels[NUM_CHANNELS] = {
    ADC_CHANNEL_1, ADC_CHANNEL_2, ADC_CHANNEL_3, ADC_CHANNEL_4,
    ADC_CHANNEL_5, ADC_CHANNEL_6, ADC_CHANNEL_7, ADC_CHANNEL_8,
    ADC_CHANNEL_9, ADC_CHANNEL_10
};
};

```

Рисунок 3.3 – Лістинг ділянки коду клібрування по світимості

В завершенні цього блоку функція `main()` ініціалізує HAL, налаштовує RCC на 168 MHz, виконує конфігурацію GPIO, I²C, ADC і дисплея через `MX_OLED_Init()`, після чого на основі попередніх налаштувань розраховує геометрію виведення на екран і переходить у нескінченний цикл (рис.3.4).

```

int main(void) {
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_I2C1_Init();
    ADC_Init();
    ssd1306_Init();
}

```

Рисунок 3.4 – Лістинг ділянки коду ініціалізації HAL

У модулі зчитування та адаптації система отримує аналогові показання і автоматично змінює режим роботи відповідно до зовнішнього освітлення.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція `read_ADC_value(uint32_t channel)` запускає перетворення АЦП і повертає результат (0...4095) (рис.3.5).

```
uint32_t read_ADC_value(uint32_t channel) {
    ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
    sConfig.Channel = channel;
    sConfig.Rank = 1;
    sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_3CYCLES;
    HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig);
    HAL_ADC_Start(&hadc1);
    HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY);
    uint32_t val = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
    HAL_ADC_Stop(&hadc1);
    return val;
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг ділянки коду

Для підтримки чутливості в різних умовах викликається `calibrate_sensors()`, яка обнуляє базові значення ФД у нічному режимі та фіксує їх як фон у денному (рис 3.6).

```
void calibrate_sensors() {
    for (int i = 0; i < NUM_PC_SENSORS; i++) {
        calibData.ambient_pc[i] = read_ADC_value(pcChannels[i]);
    }
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг ділянки коду нічної калібровки

Після калібрування `update_light_mode()` зчитує фоторезистори, порівнює показання з `DAY_NIGHT_THRESHOLD` і встановлює `MODE_DAY` або `MODE_NIGHT`, а також піднімає прапорець `needsCalibration` при зміні режиму (рис. 3.7).

```
if (currentLightMode == MODE_NIGHT) {
    for (int i = 0; i < NUM_CHANNELS; i++) {
        calibData.base_value[i] = 0;
    }
} else {
    for (int i = 0; i < NUM_CHANNELS; i++) {
        calibData.base_value[i] = read_ADC_value adcChannels[i];
    }
}

calibrated = true;
needsCalibration = false;
```

Рисунок 3.7 – Лістинг ділянки коду денної калібровки

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Більш складний режим — `draw_radar(const uint32_t v[])` — обчислює інтенсивності та кути для всіх пар, сортує їх за потужністю і малює на дисплеї N найсильніших променів із підписами (рис. 3.8).

```
void draw_radar(const uint32_t v[]) {
    const int cx = 64, cy = 32;

    typedef struct {
        int idx;
        float sum;
        float rel;
    } Pair;

    Pair pairs[NUM_BOARDS];

    for (int i = 0; i < NUM_BOARDS; ++i) {
        float vr_raw = v[2*i] * (VREF / ADC_MAX_VALUE);
        float vl_raw = v[2*i + 1] * (VREF / ADC_MAX_VALUE);

        float vr, vl;
        if (currentLightMode == MODE_DAY) {
            vr = (v[2*i] > calibData.base_value[2*i]) ? (v[2*i] - calibData.base_value[2*i]) * (VREF / ADC_MAX_VALUE) : 0;
            vl = (v[2*i+1] > calibData.base_value[2*i+1]) ? (v[2*i+1] - calibData.base_value[2*i+1]) * (VREF / ADC_MAX_VALUE) : 0;
        } else {
            vr = (vr_raw > SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD) ? vr_raw : 0;
            vl = (vl_raw > SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD) ? vl_raw : 0;
        }

        float sum = vr + vl;
        float diff = vr - vl;

        float rel;
        if (fabsf(sum) > 1e-3f) {
            rel = 2 * atan2f(diff, sum) * (180.0f/PI);
        } else {
            rel = 0;
        }

        if (rel > MAX_LOCAL_ANGLE) rel = MAX_LOCAL_ANGLE;
        if (rel < -MAX_LOCAL_ANGLE) rel = -MAX_LOCAL_ANGLE;

        pairs[i].idx = i;
        pairs[i].sum = sum;
        pairs[i].rel = rel;
    }
}
```

Рисунок 3.8 – Лістинг ділянки коду малювання режиму «Радар»

. У `draw_angle(const uint32_t v[])` перевіряється, чи сигнал перевищує калібрувальний фон (або сирі значення в нічному режимі) і виводиться або кут, або “No source”(рис. 3.9).

```
void draw_angle(void){
    char buf[32];

    if (!targetDetected) {
        ssd1306_SetCursor(0,16);
        ssd1306_WriteString("No source", Font_7x10, White);
        return;
    }

    float ang = mainTargetAngle;

    const char* dirs[8] = {"N", "NE", "E", "SE", "S", "SW", "W", "NW"};

    int di = ((int)(ang + 22.5f) % 360 + 360) % 360 / 45;

    snprintf(buf, sizeof(buf), "Angle: %.1f%c", ang, 248);
    ssd1306_SetCursor(0,0); ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
    snprintf(buf, sizeof(buf), "Dir: %s", dirs[di]);
    ssd1306_SetCursor(0,12); ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
}
```

Рисунок 3.9 – Лістинг ділянки коду перевірки умови методу калібровки

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В обробці головного циклу також реалізовано переключення між режимами (DISPLAY_METRICS, DISPLAY_ANGLE, DISPLAY_RADAR, DISPLAY_PC) та прокрутку параметрів кнопками

```
GPIO_PinState curMode = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_0);
GPIO_PinState curUp   = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_1);
GPIO_PinState curDown = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_2);

// Кнопка MODE: перемикання між режимами відображення
if (curMode == GPIO_PIN_RESET && prevMode == GPIO_PIN_SET && (now - lastMode) > DEBOUNCE_DELAY) {
    currentDisplayMode = (currentDisplayMode + 1) % NUM_DISPLAY_MODES;
    scrolloffset = 0; // Скидаємо прокрутку при зміні режиму

    if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
        numRadarLines = NUM_BOARDS;
    }
    lastMode = now;
}
// Кнопка UP
else if (curUp == GPIO_PIN_RESET && prevUp == GPIO_PIN_SET && (now - lastUp) > DEBOUNCE_DELAY) {
    if (currentDisplayMode == DISPLAY_METRICS) {
        if (scrolloffset > 0) scrolloffset--;
    } else if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
        if (numRadarLines < NUM_BOARDS) {
            numRadarLines++;
        }
    }
    lastUp = now;
}
// Кнопка DOWN
else if (curDown == GPIO_PIN_RESET && prevDown == GPIO_PIN_SET && (now - lastDown) > DEBOUNCE_DELAY) {
    if (currentDisplayMode == DISPLAY_METRICS) {
        if (scrolloffset < NUM_CHANNELS - DISPLAY_LINES) scrolloffset++;
    } else if (currentDisplayMode == DISPLAY_ANGLE) {
        calibrate_sensors(); // Калібруємо врівню
    } else if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
        if (numRadarLines > 1) {
            numRadarLines--;
        }
    }
    lastDown = now;
}
prevMode = curMode; prevUp = curUp; prevDown = curDown;
```

Рисунок 3.10 – Лістинг ділянки коду налаштування кнопок

3.4 Відладка та тестування пристрою

Для прошивання макету було використано офіційну програму для відладки STM 32CubeProgrammer.

Є кілька способів прошивки STM32:

- STlink програматор;
- режим плати DFUmod.

Було обрано DFUmod для прошивки. В програмі відладки було вказано шлях до debug файлу згідно рисунку 3.11.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

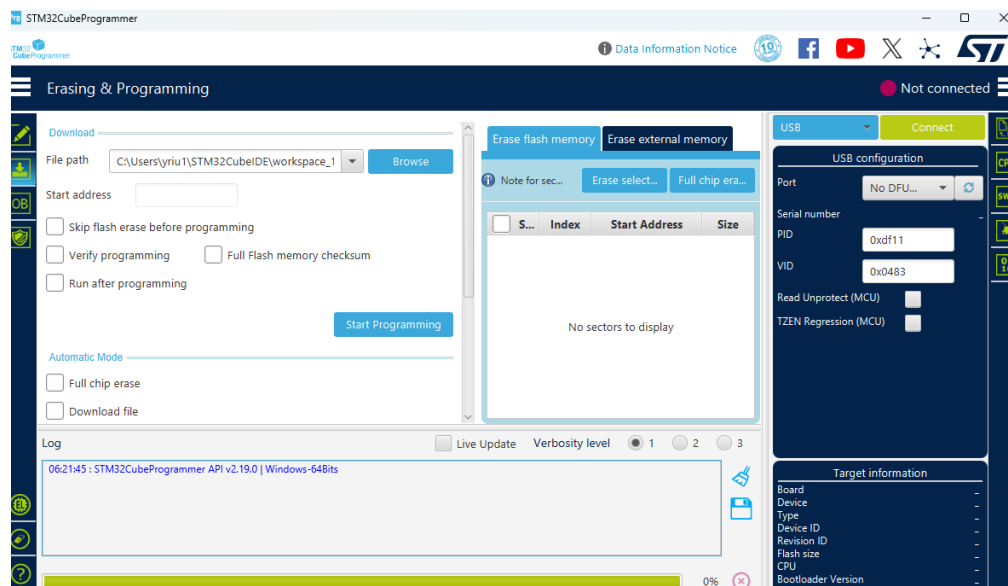


Рисунок 3.11 – Інтерфейс програми STM32CubeProgrammer

На платі було розпаяно два перемикача для переведення за допомогою підтяжки потрів boot0 та boot1 плати в режим прошивки (рис. 3.12).

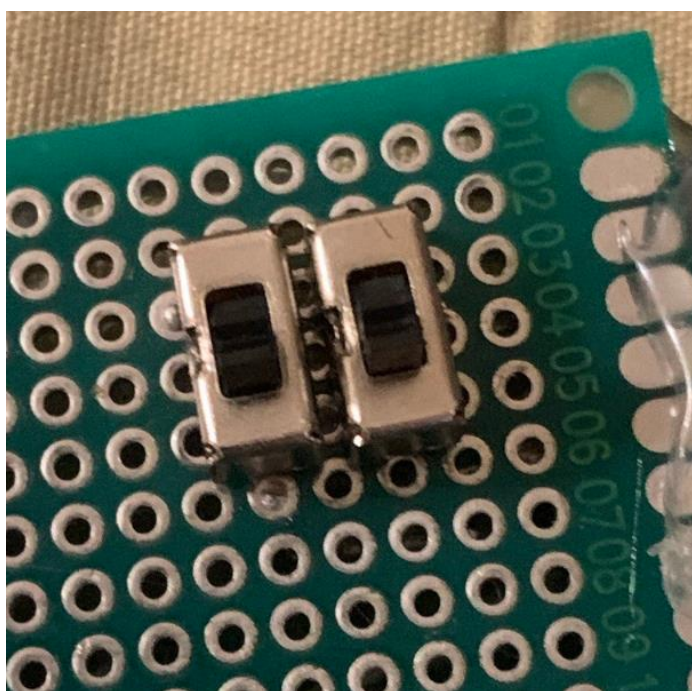


Рисунок 3.12 – Перемикачі режиму DFU

Після прошивки провів перевірку роботоздатності було виявлено аномальну напругу по виходах ADC6-7, для пошуку джерела напруги було проведено діагностику, як стало відомо в процесі діагностики, до портів PA6

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

та PA7 апаратно підтягнуто два світлодіоди, для вирішення проблеми необхідно здвинути резистори під позиційним номером R13 та R14 (рис. 3.13).

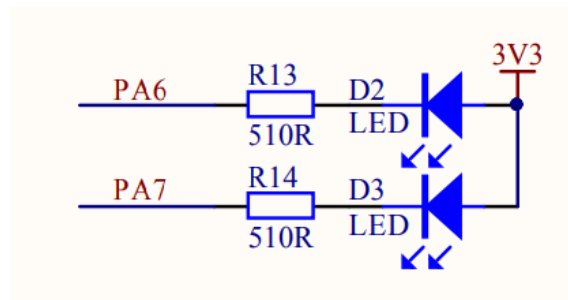


Рисунок 3.13 – Резистори підтяжки на схемі електричній принциповій

Після зсуву резисторів аномальна напруга холостого ходу на виводах стала 0.01В проти 0.14В.

Після усунення всіх дефектів макету, було проведено ряд тестів в різних режимах роботи:

- денний режим роботи системи;
- нічний режим роботи системи;
- режим телеметрії основних фотодатчиків;
- режим відображення кута;
- режим радару.

Денний режим роботи спрацьовує штатно (рис 3.14), напруга зміни режиму підібрана точно.

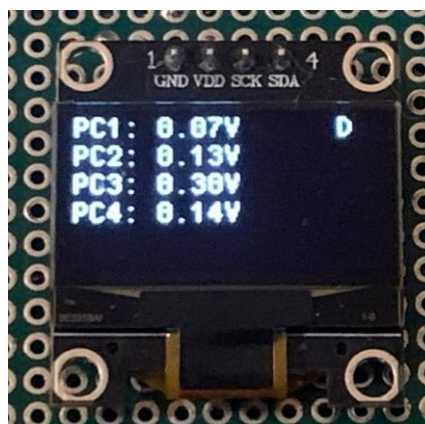


Рисунок 3.14 – Денний режим роботи

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нічний режим роботи працював штатно, його було перевірено в різних умовах, проблем в роботі не знайдено (рис. 3.15).

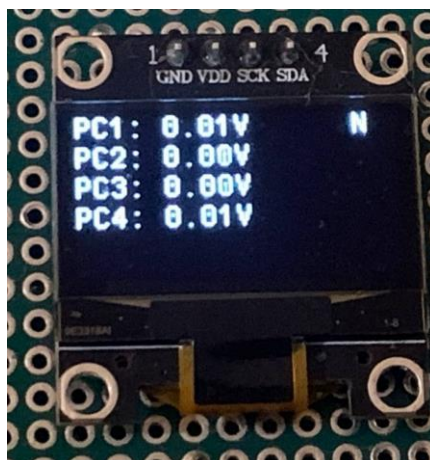


Рисунок 3.15 – Нічний режим роботи

Основний режим телеметрії працює справно, помилок в роботі режиму не знайдено (рис. 3.16).

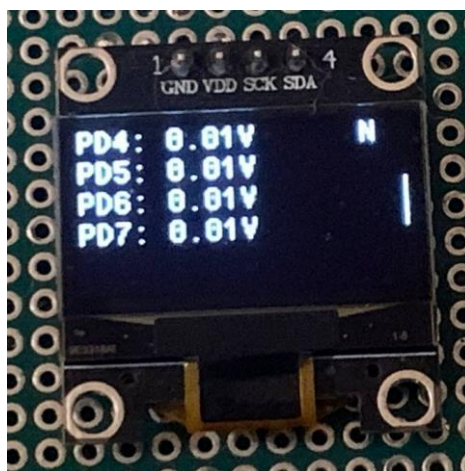


Рисунок 3.16 – Режим телеметрії основних фотодатчиків

Було проведено тест режиму показу кута, режим працює справно, помилок в роботі режиму не виявлено (рис. 3.17).

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

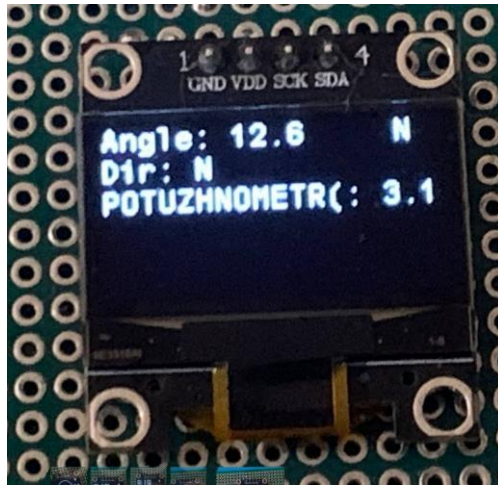


Рисунок 3.17– Режим відображення кута

Останім тестом було поревірено режим радару, тести показали повну роботоздатність режиму, напрям джерела опромінення визначається з високою точністю (рис 3.18), алгоритм не вразливий до зміщення напрямку опромінення відносно центру датчика, данна стійкість зумовлена алгоритмом обрахунку кута який рахує кожен пару незалежно від інших що дозволило отримати високу точність.

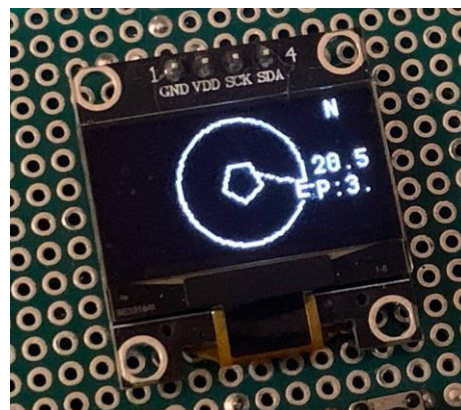


Рисунок 3.18 – Режим радару

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Фізіологічний вплив факторів існування на життєдіяльність людини

Людина, працюючи із сучасними електронними системами, не усвідомлено піддається численним фізичним і хімічним факторам. Для пристрою, що фіксує інфрачервоне опромінення, найважливішим є теплове випромінювання у спектрі 780–1400 нм. Коли фотодіоди реєструють інфрачервоні сигнали, самі вони не випромінюють потужного енергії, проте лазерні або інші джерела ІЧ-опромінення, які може виявляти прилад, здатні створювати локальне нагрівання тканин. При інтенсивності понад 10 мВт/см² поверхневі шари шкіри та рогівка ока нагріваються, що викликає відчуття печіння, а за тривалого впливу — мікро опіки й пошкодження клітинної структури. Проблема ускладнюється тим, що людське око позбавлене больових рецепторів у рогівці, тому небезпечна доза інфрачервоного випромінювання може накопичуватися непомітно для оператора [16].

Крім теплового ефекту, робочу обстановку формують шум, вібрація та електромагнітні поля. У компактних електронних вимірювальних системах охолодження підсилювачів (МСР602) та інших вузлів нерідко встановлюють невеликі вентилятори, що розвивають шум на рівні 70–85 дБ. Перевищення 80 дБ погіршує сприйняття сигналів і знижує когнітивні функції людини: вона втрачає здатність довго зосереджуватися на дрібних деталях, а ризик помилки у вимірах зростає [18]. Дослідження показують, що за таких умов точність калібрування фотодіодів може знижуватися на 15–20 % через неодноразові переривання роботи для відпочинку очей і вух [19].

Вібраційні коливання, що передаються від корпусу пристрою до робочої поверхні, також можуть впливати на здоров'я. Якщо рівень вібрації перевищує

					<i>КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Лавришук Ю.О.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>		
<i>Перевірив</i>		<i>Тиш Є.В.</i>					
<i>Консульт.</i>		<i>Пилипець М.І.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						43	
					<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		

0,5 м/с², це сприяє порушенню кровообігу в кистях та передпліччях, що особливо критично при тонких налаштуваннях оптичних елементів. Непомітне тремтіння руки призводить до зміщення позиціонування фотодіодів на мікронному рівні, а оператор змушений компенсувати його, що підвищує м'язову напругу й швидко призводить до стомлення [19].

Електромагнітні поля (ЕМП) у низькочастотному діапазоні 50–60 Гц у приміщенні, де встановлено кілька вимірювальних систем, підсилювачів і комп'ютерів, за інтенсивності понад 25 кВ/м можуть впливати на серцево-судинну й нервову систему. Хоча датчики ІЧ-опромінення працюють на високочастотних напівпровідникових елементах, котрі самі не створюють сильного ЕМП, наведені поля від розміщеного поруч обладнання підсилюють ризик. За нормативами ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.039-99, ДСН 3.3.6.010-99 для виробничих приміщень встановлено граничні допустимі рівні, перевищення яких вимагає перегрупування техніки або посиленої ізоляції робочої зони.

Нормативно-правовою основою для оцінки фізіологічного впливу факторів є низка документів:

- ДСТУ EN 62471:2017 «Фотобіологічна безпека ламп і лампових систем», де розділ 4.2 деталізує ризики теплового й фотохімічного впливу [16].
- Наказ МОЗ України від 21.05.2007 № 246 який регламентує періодичність офтальмологічних оглядів для операторів оптичних та лазерних систем [17].
- ДСН 3.3.6.037-99: «Допустимі рівні шуму в робочих приміщеннях» [18].
- ДСН 3.3.6.039-99 «Допустимі рівні вібрації в робочих приміщеннях» [19].
- ДСН 3.3.6.010-99 «Допустимі рівні електромагнітних полів у робочих приміщеннях [20].

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Враховуючи ці чинники, у КРБ обґрунтовано принципи та методи захисту оператора. До них належать колективні засоби захисту, екранні щитки навколо фотодіодних модулів, шумоізоляція корпусу, демпфери для зниження вібрації.

Індивідуальні засоби захисту. Захисні окуляри з IR-фільтрами, протишумові навушники, ергономічні рукавички з антивібраційними вставками.

Організаційні заходи. Зонування приміщення (відділення вимірювального блоку від контрольної панелі), обмеження часу безперервної роботи (по 20–25 хв із перервами на відпочинок м'язів та органів зору), встановлення графіків медичних оглядів.

Навчальні програми. Інструктажі з безпечного поводження з оптичними системами, правила першої допомоги при теплових опіках рогівки та процедури евакуації постраждалого [21].

4.2. Організація безпечного налагодження та випробувань STM32-системи

Налагодження та випробування вбудованих систем на базі STM32 супроводжується безліччю операцій із паянням, монтажем і маніпуляціями з чутливими електронними компонентами. Щоб мінімізувати ризики для здоров'я оператора та захистити плату від пошкоджень, необхідно продумати кожен етап робочого процесу — від вибору припою до облаштування робочої зони.

Для більшості прототипів застосовують олов'яно-свинцевий припій із температурою плавлення близько 180 °С. Хоча культура «безсвинцевого» паяння сьогодні популярна з огляду на екологічні норми, олов'яно-свинцевий припій дає нижчий термо-профіль і зменшує термічне навантаження на крихкі компоненти. Випаровування металу починається лише при температурах від 400 °С, тому головну небезпеку становлять пари флюсу, а не сам свинець.[24]

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При побудові комп'ютеризованої системи було використано припій із RMA-флюсом, який за технічними паспортами є умовно безпечним,

Дуже важливим є організація вентиляції й витяжної системи. Навіть безпечний RMA-флюс при нагріві виділяє органічні з'єднання, які подразнюють дихальні шляхи. Тому над паяльною станцією обов'язково встановлено місцеву витяжку з активованим вугільним фільтром — вона усуває до 90 % летких сполук. Провітрювання приміщення проводиться так, щоб повітрообмін становив не менше ніж 6 кратів за годину[22], а температура повітря залишалася в межах 20–24 °С із вологістю 40–60 %.[23]

Необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту. Перед початком роботи необхідно надягнути захисні окуляри, навіть найменша бризка розплавленого припою, що розлітається через різкий рух жала, може спричинити опік рогівки. Рукавички з термостійкого, але дихаючого матеріалу захищають шкіру від випадкових дотиків до нагрівального елементу паяльника, однак при цьому мають бути тонкими, щоб не знижувати чутливість пальців. Для утримання компонентів необхідно застосовувати антистатичний пінцет: окрім захисту від електростатичних розрядів, він запобігає ковзанню деталей і гарантує точність позиціонування.

В КРБ було організовано анти-паразитні та антистатичні заходи. STM32-мікроконтролери та датчики дуже чутливі до електростатичних імпульсів — достатньо кількох десятків вольт, щоб вивести з ладу входи ADC чи порти GPIO. Тому поверхня столу має бути вкрита антистатичним килимком, а оператор повинен бути під'єднаний до загального контуру ESD-заземлення спеціальним браслетом. Всі інструменти і дроти маркують, щоб виключити випадкове під'єднання «землі» непідходящим кабелем і раптове руйнування кристалу мікроконтролера.

При тестуванні й налагодження потрібно вжити заходів.

Після монтажу кожного вузла плати обов'язково потрібно виконувати перевірку цілісності доріжок мультиметром, лише потім підключати джерело живлення з обмежувачем струму на 500 мА.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це дозволило виявити коротке замикання на ранньому етапі. Для аналізу споживання та контролю напруги 3,3 В і 5 В варто застосовувати цифровий осцилограф із захистом від перевантаження — він показує, чи немає стрибків напруги під час ініціалізації STM32 і запуску завантажувача.

Інфрачервоні лазери з довжиною хвилі від 780 до 1400 нм мають високу прозорість середовища ока й фокусуються на сітківці, через що будь-який контакт випромінювання з оком може призвести до небезпечного теплового ураження. Згідно з положеннями ДСТУ EN 60825-1:2019 «Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги», такі лазери згідно з їхньою оптичною потужністю належать до класів 2–4 і вимагають особливо суворих заходів безпеки.[16]

Під час виконання КРБ було вжито всіх заходів безпеки що попередило будь які травми

Було вжито комплекс заходів — від ретельного вибору припою й флюсу до суворого дотримання антистатичних процедур та контрольованого підключення живлення — забезпечує безпечне, ефективне й надійне налагодження і випробування STM32-системи як у лабораторних, так і в на пів промислових умовах. Цей підхід не лише зберігає здоров'я оператора й цілісність пристрою, а й упорядковує весь процес розробки, значно скорочуючи час на пошук і виправлення помилок.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи над системою сповіщення про лазерне опромінення було проведено ґрунтовне дослідження існуючих рішень і технічних вимог з урахуванням специфіки нормативної бази та практичних сценаріїв застосування. Вивчення вітчизняних і закордонних розробок дозволило окреслити головні критерії точності визначення напрямку лазерного променя, швидкості сповіщення та гнучкості інтеграції з іншими системами. На цій основі було сформульовано набір вимог до чутливості сенсорного блоку, швидкодії обробки даних і енергоспоживання, що лягли в основу подальшої розробки.

Першим практичним кроком стало створення електричної схеми й макету сенсорної підсистеми, у якій фотодіоди й спектральні фільтри було підібрано з огляду на максимальну селективність до лазерного випромінювання та мінімальний рівень фонових шумів. Монтаж на пентагональній платі забезпечив рівномірне охоплення простору й дозволив протестувати алгоритми кутового визначення без «мертвих зон». Відтак було зібрано апаратний прототип, що повністю відповідав вимогам щодо електромагнітної сумісності й безпеки експлуатації.

Паралельно з апаратною частиною велась розробка програмного забезпечення: у середовищі STM32CubeIDE створено прошивку на C/C++, що реалізує адаптивну фільтрацію перешкод, обчислення кута падіння променя та відображення результатів на OLED-дисплеї. Особливу увагу було приділено оптимізації затримок у ланцюзі збору, обробки і передачі даних, що забезпечило швидкість реакції нижче за встановлену норму. Під час налагодження подолано низку апаратно-програмних конфліктів, вдалося захистити систему від нестабільності живлення та сторонніх перешкод.

Тестування прототипу проводилося в різноманітних умовах: зі штучним лазерним випромінюванням різної потужності й під кутами падаючих променів, зі змінним рівнем освітленості й температури. Отримані результати

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтвердили відповідність розробленої системи поставленим технічним вимогам з погляду точності, надійності та швидкодії сповіщення.

У процесі реалізації проєкту здобуто цінні навички технічного аналізу й схемотехніки, програмування вбудованих систем, а також методологій системного тестування і відладки складних комплексів. Розроблена система є перспективною для застосування в оборонній, авіаційній та промисловій сферах, де вчасне виявлення лазерного опромінення є критично важливим для захисту обладнання та людського зору.

Отже, виконана кваліфікаційна робота підтверджує ефективність обраного підходу до детекції та обробки сигналів лазерного випромінювання, демонструє практичну придатність розробленого прототипу і створює міцну основу для подальших досліджень і вдосконалення системи.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
2. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
3. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovsky R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65.
4. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
5. Тиш Є.В. Узагальнений алгоритм синтезу компонентів комп'ютерних систем на основі мікропрограмних автоматів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 36 (75), № 1, 2025. С. 247-253.
6. Tysh Ie. Approach and method of evaluation of the general reliability indicator of computer systems. International scientific journal “Computer systems and information technologies”, 3 (5). Khmelnytskyi National University. 2021. P.74-80.
7. Тиш Є.В., Шалапай Р.І. Типи вимог до комп'ютерних систем і методи їх виявлення. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 437.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. STM32-Base.org. Original schematic STM32F407VET6-STM32_F4VE_V2.0. 2016. URL: https://stm32-base.org/assets/pdf/boards/original-schematic-STM32F407VET6-STM32_F4VE_V2.0.pdf (дата звернення: 26.06.2025).

9. afiskon. stm32-ssd1306: STM32 library for working with OLEDs based on SSD1306, SH1106, SH1107 and SSD1309, supports I2C and SPI [Електронний ресурс]. 2025. URL: <https://github.com/afiskon/stm32-ssd1306> (дата звернення: 26.06.2025)

10. Siemens Semiconductor Group. BPW34F Datasheet (PDF). 1998. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/44655/SIEMENS/BPW34F.html> (дата звернення: 26.06.2025).

11. Vishay Semiconductors. BPW34 Photodiode Datasheet. Rev. 2.1, 23.08.2011. URL: <https://www.vishay.com/docs/81521/bpw34.pdf> (дата звернення: 26.06.2025).

12. Microchip Technology Inc. MCP601/1R/2/3/4 2.7V to 6.0V Single Supply CMOS Op Amps Datasheet 2007. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21314g.pdf> (дата звернення: 26.06.2025)

13. STMicroelectronics. STM32CubeIDE 2025. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> (дата звернення: 26.06.2025).

14. STMicroelectronics. STM32CubeIDE 2025. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> (дата звернення: 26.06.2025).

15. Матвієнко С. Уроки по STM32 – початок роботи з STM32CubeIDE IT Master – електроніка та програмування. – Режим доступу: <https://itmaster.biz.ua/electronics/stm32/stm32cubeide.html> (дата звернення: 26.06.2025).

16. ДСТУ EN 60825-1:2019 «Безпечність лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги». – 59 с.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. ДСТУ EN 62471:2017 «Фотобіологічна безпека ламп і лампових систем». Розділ 4.2 «Ризики теплового й фотохімічного впливу». – 104 с. (с. 45–52)

18. Наказ МОЗ України від 21.05.2007 № 246 «Про регламентування періодичності офтальмологічних оглядів для операторів оптичних та лазерних систем». – 4 с.

19. ДСН 3.3.6.037-99 «Допустимі рівні шуму в робочих приміщеннях». – 12 с.

20. ДСН 3.3.6.039-99 «Допустимі рівні вібрації в робочих приміщеннях». – 10 с.

21. ДСН 3.3.6.010-99 «Допустимі рівні електромагнітних полів у робочих приміщеннях». – 15 с.

22. Наказ МОЗ України від 21.02.2023 № 354 «Про затвердження санітарно-епідемічних вимог до утримання й експлуатації джерел лазерного випромінювання». – 8 с.

23. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». – 9 с.

24. ДСТУ EN 611-1:2004 «Олово та олов'яні сплави. Олов'яно-свинцевий сплав». – 16 с.

					КС КРБ 123.213.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р

Комп'ютеризована система виявлення направленою
лазерного випромінювання

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на _9_ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____ к.т.н., доц. Тиш Є.В.

_____ Лаврищук Ю.О.

« ____ » _____ 2025 р.

« ____ » _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система виявлення направленого лазерного випромінювання».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.213.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Лаврищук Юрій. Олегович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Пристрій що призначений для:

- визначення напрямку кута лазерного опромінення;
- попередження користувача про загрозу.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та відладка пристрою для детекції та визначення напрямку лазерного опромінення з цілю протидії загрозам.

2.3 Характеристика об'єкту

Пристрій СППО призначений для військових цілей, має можливість детекції напрямку опромінення

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Пристрій СППО повинен складатись з:

- розробленого пристрою;
- програмного коду.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Основна вимога, яка ставиться до способів та засобів сповіщення– це точність, швидкодія та відмовостійкість.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи визначено два режими функціонування:

- нормальний режим функціонування;
- аварійний режим функціонування.

Основним режимом функціонування є нормальний режим.

Нормальним режимом функціонування є нічний режим роботи, коли немає перешкод, нічний режим характеризується мінімальною кількістю фільтровок.

Аварійним режимом роботи пристрою СППО є денний режим, денний режим має захист від перешкод які вносить сонячне випромінювання.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування Для діагностування пристрій було перевірено в різних режимах роботи

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Даний пристрій може бути покращено завдяки використанню додаткових програмних компонентів, покращення апаратних та програмних методів фільтрації перешкод

3.2 Показники призначення

Пристрій СППО повинен передбачати можливість покращення та масштабування масиву сенсорів для збільшення точності та швидкодії роботи.

3.2.1 Вимоги до надійності

Пристрій повинен забезпечувати працездатність та відновлення своїх функцій при виникненні наступних ситуацій:

- при збоях в системі електропостачання апаратної частини;
- при помилках в роботі апаратних засобів;
- при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням

Для захисту апаратури від стрибків напруги і комутаційних завад повинні застосовуватися мережні фільтри.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази і дим. Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат в приміщеннях повинен відповідати нормам виробничого мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99:

- температуру повітря в межах від +10°C до +35°C;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 30% до 80%;
- атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

Періодичне технічне обслуговування і тестування технічних засобів повинні включати обслуговування і тестування всіх використовуваних засобів, датчики, контролери, пристрої безперебійного живлення.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинні проводитися аналіз причин виникнення виявлених дефектів і прийматися заходи по їх ліквідації.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати захист від несанкціонованого доступу на рівні не нижче встановленого вимогами, що пред'являються до категорії 1Д по класифікації документа, що діє, "Автоматизовані системи. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Класифікація автоматизованих

це повинно бути реалізовано захистом самих засобів де встановлений пристрій та фізичний захист інтерфейсу від стороннього доступу

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Пристрій повинен мати стабільне живлення для запобігання пошкодження програмного забезпечення

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування безпеки. Мати простий і відмовостійкий інтерфейс

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- забезпечення зручного інтерфейсу;
- забезпечення високої відмовостійкості;
- забезпечення високої точності роботи;
- забезпечення високої швидкодії.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
 - в) Схема електрична принципова.
 - г) Схема електрична монтажна (з'єднань).

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання.	27.01.2025р. – 02.02.2025р.
2	Аналіз технічного завдання	21.02.2025р. – 02.03.2025р.
3	Аналіз вимог до системи	03.03.2025р. – 04.03.2025р.
4	Проектування, реалізація програмної і апаратної частини	21.04.2025р. – 02.05.2025р.
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	1.06.2025р. – 5.06.2025р.
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	02.06.2025р. – 15.06.2025р.
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06.2025р. – 15.06.2025р.
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025р. – 22.06.2025р.
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	27.06.2025

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Лістинг Main.c

```
/* Includes ----- */
#include "main.h"
#include "stm32f4xx_hal.h"
#include "ssd1306.h"
#include "ssd1306_fonts.h"
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdbool.h>
#include <stdlib.h>

#define ADC_MAX_VALUE      4095.0f
#define VREF                3.3f
#define DISPLAY_LINES      4
#define NUM_CHANNELS        10
#define NUM_BOARDS          5
#define NUM_PC_SENSORS      4

#define DEBOUNCE_DELAY      123

#define PI                  3.14159265f
#define SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD 0.1f

#define CIRCLE_RADIUS       30
#define PENTA_RADIUS        10
#define MAX_LOCAL_ANGLE     60.0f

#define TARGET_FRAME_TIME_MS 33

#define DASH_LENGTH         3
#define GAP_LENGTH          2

#define DAY_NIGHT_THRESHOLD 0.05f

typedef enum {
    MODE_DAY,
    MODE_NIGHT
} LightMode;

typedef enum {
    DISPLAY_METRICS,
    DISPLAY_ANGLE,
    DISPLAY_RADAR,
    DISPLAY_PC,
    NUM_DISPLAY_MODES
} DisplayMode;

typedef struct {
    uint32_t base_value[NUM_CHANNELS];
    uint32_t ambient_pc[NUM_PC_SENSORS];
} CalibrationData;
```

```

ADC_HandleTypeDef hadc1;
I2C_HandleTypeDef hi2c1;
static bool calibrated = false;
static LightMode currentLightMode = MODE_DAY;
static DisplayMode currentDisplayMode = DISPLAY_METRICS;
static CalibrationData calibData;
static bool needsCalibration = true;
static int numRadarLines = NUM_BOARDS;
static float center_x[NUM_BOARDS], center_y[NUM_BOARDS], normal_angle[NUM_BOARDS];
static const uint32_t pcChannels[NUM_PC_SENSORS] = {ADC_CHANNEL_11, ADC_CHANNEL_12,
ADC_CHANNEL_13, ADC_CHANNEL_14};
static const uint32_t adcChannels[NUM_CHANNELS] = {

    // BPW34F
    ADC_CHANNEL_1, ADC_CHANNEL_2, ADC_CHANNEL_3, ADC_CHANNEL_4,
    ADC_CHANNEL_5, ADC_CHANNEL_6, ADC_CHANNEL_7, ADC_CHANNEL_8,
    ADC_CHANNEL_9, ADC_CHANNEL_10
};

\

static float mainTargetAngle = 0.0f;

static float mainTargetPower = 0.0f;

static bool targetDetected = false;


void SystemClock_Config(void);
void MX_GPIO_Init(void);
void MX_I2C1_Init(void);
void ADC_Init(void);
uint32_t read_ADC_value(uint32_t channel);
void calculate_geometry(void);
void draw_metrics(const uint32_t v[], int off);
void draw_angle(void);

void draw_radar(const uint32_t v[]);

void draw_pc_metrics(void);
void calibrate_sensors(void);
void update_light_mode(void);
void Error_Handler(void);

```

```

int main(void) {
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_I2C1_Init();
    ADC_Init();
    ssd1306_Init();

    uint32_t adcValues[NUM_CHANNELS];
    int scrollOffset = 0;
    uint32_t lastMode = 0, lastUp = 0, lastDown = 0;
    GPIO_PinState prevMode = GPIO_PIN_SET, prevUp = GPIO_PIN_SET, prevDown =
GPIO_PIN_SET;

    calculate_geometry();

    uint32_t frameStartTime = HAL_GetTick();

    while (1) {
        uint32_t now = HAL_GetTick();

        LightMode previousLightMode = currentLightMode;
        update_light_mode();

        if (needsCalibration || (currentLightMode != previousLightMode &&
calibrated)) {
            calibrate_sensors();
        }

        GPIO_PinState curMode = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_0);
        GPIO_PinState curUp    = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_1);
        GPIO_PinState curDown  = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_2);

        if (curMode == GPIO_PIN_RESET && prevMode == GPIO_PIN_SET && (now - lastMode)
> DEBOUNCE_DELAY) {
            currentDisplayMode = (currentDisplayMode + 1) % NUM_DISPLAY_MODES;
            scrollOffset = 0;

            if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
                numRadarLines = NUM_BOARDS;
            }
            lastMode = now;
        }

        else if (curUp == GPIO_PIN_RESET && prevUp == GPIO_PIN_SET && (now - lastUp)
> DEBOUNCE_DELAY) {
            if (currentDisplayMode == DISPLAY_METRICS) {
                if (scrollOffset > 0) scrollOffset--;
            } else if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
                if (numRadarLines < NUM_BOARDS) {
                    numRadarLines++;
                }
            }
            lastUp = now;
        }

        else if (curDown == GPIO_PIN_RESET && prevDown == GPIO_PIN_SET && (now -
lastDown) > DEBOUNCE_DELAY) {
            if (currentDisplayMode == DISPLAY_METRICS) {

```



```

        if (scrollOffset < NUM_CHANNELS - DISPLAY_LINES) scrollOffset++;
    } else if (currentDisplayMode == DISPLAY_ANGLE) {
        calibrate_sensors();
    } else if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
        if (numRadarLines > 1) {
            numRadarLines--;
        }
    }
    lastDown = now;
}
prevMode = curMode; prevUp = curUp; prevDown = curDown;

for (int i = 0; i < NUM_CHANNELS; ++i) {
    adcValues[i] = read_ADC_value(adcChannels[i]);
}

ssd1306_Fill(Black);

draw_radar(adcValues);

switch (currentDisplayMode) {
    case DISPLAY_METRICS: draw_metrics(adcValues, scrollOffset); break;
    case DISPLAY_ANGLE: draw_angle(); break;
    case DISPLAY_RADAR: break;
    case DISPLAY_PC: draw_pc_metrics(); break;
    default: break;
}

ssd1306_SetCursor(110, 0);
ssd1306_WriteString((currentLightMode == MODE_DAY) ? "D" : "N", Font_7x10,
White);

ssd1306_UpdateScreen();

uint32_t frameEndTime = HAL_GetTick();
uint32_t elapsedTime = frameEndTime - frameStartTime;
if (elapsedTime < TARGET_FRAME_TIME_MS) {
    HAL_Delay(TARGET_FRAME_TIME_MS - elapsedTime);
}
frameStartTime = HAL_GetTick();
}
}

uint32_t read_ADC_value(uint32_t channel) {
    ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
    sConfig.Channel = channel;

```

```

sConfig.Rank = 1;
sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_3CYCLES;
HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig);
HAL_ADC_Start(&hadc1);
HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY);
uint32_t val = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
HAL_ADC_Stop(&hadc1);
return val;
}

void calculate_geometry(void) {
    const int cx = 64, cy = 32;

    for (int i = 0; i < NUM_BOARDS; ++i) {
        float a0 = PI/2 - i * 2 * PI / NUM_BOARDS;
        float a1 = PI/2 - (i+1) * 2 * PI / NUM_BOARDS;
        float x0 = cx + PENTA_RADIUS * cosf(a0);
        float y0 = cy + PENTA_RADIUS * sinf(a0);
        float x1 = cx + PENTA_RADIUS * cosf(a1);
        float y1 = cy + PENTA_RADIUS * sinf(a1);
        center_x[i] = (x0 + x1) / 2;
        center_y[i] = (y0 + y1) / 2;
        normal_angle[i] = atan2f(y1 - y0, x1 - x0) + PI/2;
    }
}

```

```

void draw_metrics(const uint32_t v[], int off) {
    char buf[32];
    for (int i = 0; i < DISPLAY_LINES; ++i) {
        int idx = off + i;
        if (idx < NUM_CHANNELS) {
            float voltage = v[idx] * (VREF / ADC_MAX_VALUE);
            snprintf(buf, sizeof(buf), "PD%d: %.2fV", idx+1, voltage);
            ssd1306_SetCursor(0, i*12);
            ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
        }
    }

    if (NUM_CHANNELS > DISPLAY_LINES) {
        int barH = (48 * DISPLAY_LINES) / NUM_CHANNELS;
        int pos = (48 - barH) * off / (NUM_CHANNELS - DISPLAY_LINES);
        for (int y = 0; y < 48; ++y) {
            ssd1306_DrawPixel(127, 8 + y, (y >= pos && y < pos + barH) ? White :
Black);
        }
    }
}

```

```

void draw_angle(void){
    char buf[32];

```

```

    if (!targetDetected) {
        ssd1306_SetCursor(0,16);
        ssd1306_WriteString("No source", Font_7x10, White);
        return;
    }

    float ang = mainTargetAngle;

    const char* dirs[8] = {"N", "NE", "E", "SE", "S", "SW", "W", "NW"};

    int di = ((int)(ang + 22.5f) % 360 + 360) % 360 / 45;

    snprintf(buf, sizeof(buf), "Angle: %.1f%c", ang, 248);

    ssd1306_SetCursor(0,0); ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
    snprintf(buf, sizeof(buf), "Dir: %s", dirs[di]);
    ssd1306_SetCursor(0,12); ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
    snprintf(buf, sizeof(buf), "POTUZHNOETR(: %.2f", mainTargetPower);
    ssd1306_SetCursor(0, 24);
    ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
}

void draw_radar(const uint32_t v[]) {
    const int cx = 64, cy = 32;

    typedef struct {
        int idx;
        float sum;
        float rel;
    } Pair;

    Pair pairs[NUM_BOARDS];

    for (int i = 0; i < NUM_BOARDS; ++i) {
        float vr_raw = v[2*i] * (VREF / ADC_MAX_VALUE);
        float vl_raw = v[2*i + 1] * (VREF / ADC_MAX_VALUE);

        float vr, vl;
        if (currentLightMode == MODE_DAY) {
            vr = (v[2*i] > calibData.base_value[2*i]) ? (v[2*i] -
calibData.base_value[2*i]) * (VREF / ADC_MAX_VALUE) : 0;
            vl = (v[2*i+1] > calibData.base_value[2*i+1]) ? (v[2*i+1] -
calibData.base_value[2*i+1]) * (VREF / ADC_MAX_VALUE) : 0;
        } else {
            vr = (vr_raw > SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD) ? vr_raw : 0;
            vl = (vl_raw > SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD) ? vl_raw : 0;
        }

        float sum = vr + vl;
        float diff = vr - vl;

        float rel;
        if (fabsf(sum) > 1e-3f) {
            rel = 2 * atan2f(diff, sum) * (180.0f/PI);
        } else {
            rel = 0;
        }
    }
}

```

```

    }

    if (rel > MAX_LOCAL_ANGLE) rel = MAX_LOCAL_ANGLE;
    if (rel < -MAX_LOCAL_ANGLE) rel = -MAX_LOCAL_ANGLE;

    pairs[i].idx = i;
    pairs[i].sum = sum;
    pairs[i].rel = rel;
}

for (int i = 0; i < NUM_BOARDS - 1; ++i) {
    for (int k = i + 1; k < NUM_BOARDS; ++k) {
        if (pairs[k].sum > pairs[i].sum) {
            Pair t = pairs[i];
            pairs[i] = pairs[k];
            pairs[k] = t;
        }
    }
}

targetDetected = false;
mainTargetAngle = 0.0f;
mainTargetPower = 0.0f;

if (NUM_BOARDS > 0 && pairs[0].sum >= SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD) {
    targetDetected = true;
    float ang_rad_best = normal_angle[pairs[0].idx] + pairs[0].rel * (PI /
180.0f);
    mainTargetAngle = fmodf(ang_rad_best * (180.0f/PI) + 360.0f, 360.0f);
    mainTargetPower = pairs[0].sum;
}

if (currentDisplayMode == DISPLAY_RADAR) {
    ssd1306_DrawCircle(cx, cy, CIRCLE_RADIUS, White)

    for (int i = 0; i < NUM_BOARDS; ++i) {
        float angle_start = PI/2 - i * 2 * PI / NUM_BOARDS;
        float angle_end = PI/2 - (i+1) * 2 * PI / NUM_BOARDS;
        int x_start = cx + (int)(PENTA_RADIUS * cosf(angle_start));
        int y_start = cy + (int)(PENTA_RADIUS * sinf(angle_start));
        int x_end = cx + (int)(PENTA_RADIUS * cosf(angle_end));
        int y_end = cy + (int)(PENTA_RADIUS * sinf(angle_end));
        ssd1306_DrawLine(x_start, y_start, x_end, y_end, White);
    }

    if (!targetDetected) {
        ssd1306_SetCursor(0, 16);
        ssd1306_WriteString("No target", Font_7x10, White);
    } else {
        for (int m = 0; m < numRadarLines && m < NUM_BOARDS; ++m) {
            int i = pairs[m].idx;

            if (pairs[m].sum < SIGNAL_VOLTAGE_THRESHOLD) {

                break;
            }
        }
    }
}

```

```

    }

    float ang_rad_current = normal_angle[i] + pairs[m].rel * (PI /
180.0f);

    float dx = cosf(ang_rad_current);
    float dy = sinf(ang_rad_current);

    float ex0 = center_x[i], ey0 = center_y[i];

    for (float d = 0; d < CIRCLE_RADIUS; d += DASH_LENGTH + GAP_LENGTH) {
        int sx = (int)(ex0 + dx * d);
        int sy = (int)(ey0 + dy * d);
        int ex = (int)(ex0 + dx * (d + DASH_LENGTH));
        int ey = (int)(ey0 + dy * (d + DASH_LENGTH));
        ssd1306_DrawLine(sx, sy, ex, ey, White);
    }

    if (m == 0) {
        int text_x = cx + CIRCLE_RADIUS + 5;
        int text_y = cy - 6;

        char angle_str[16];
        snprintf(angle_str, sizeof(angle_str), "%.1f%c", mainTargetAngle,
248);

        ssd1306_SetCursor(text_x, text_y);
        ssd1306_WriteString(angle_str, Font_7x10, White);

        char power_str[16];
        snprintf(power_str, sizeof(power_str), "P:%.2fV",
mainTargetPower);

        ssd1306_SetCursor(text_x, text_y + 12);
        ssd1306_WriteString(power_str, Font_7x10, White);

        int marker_x = cx + (int)(CIRCLE_RADIUS * dx);
        int marker_y = cy + (int)(CIRCLE_RADIUS * dy);

        marker_x = (marker_x < 6) ? 6 : (marker_x > 122) ? 122 :
marker_x;

        marker_y = (marker_y < 6) ? 6 : (marker_y > 58) ? 58 : marker_y;

        ssd1306_SetCursor(marker_x - 3, marker_y - 6);
        ssd1306_WriteString("E", Font_7x10, White);
    }
}
}
}
}

void draw_pc_metrics(void) {
    char buf[32];

```

```

    for (int i = 0; i < NUM_PC_SENSORS; ++i) {
        float voltage = read_ADC_value(pcChannels[i]) * (VREF / ADC_MAX_VALUE);
        snprintf(buf, sizeof(buf), "PC%u: %.2fV", i+1, voltage);
        ssd1306_SetCursor(0, i*12);
        ssd1306_WriteString(buf, Font_7x10, White);
    }
}

void calibrate_sensors() {
    for (int i = 0; i < NUM_PC_SENSORS; i++) {
        calibData.ambient_pc[i] = read_ADC_value(pcChannels[i]);
    }

    if (currentLightMode == MODE_NIGHT) {
        for (int i = 0; i < NUM_CHANNELS; i++) {
            calibData.base_value[i] = 0;
        }
    } else {
        MODE_DAY
        for (int i = 0; i < NUM_CHANNELS; i++) {
            calibData.base_value[i] = read_ADC_value(adcChannels[i]);
        }
    }

    calibrated = true;
    needsCalibration = false;
}

void update_light_mode() {
    static uint32_t lastCheck = 0;
    uint32_t currentTime = HAL_GetTick();

    if (currentTime - lastCheck > 1000) {
        bool isDayDetected = false;
        for (int i = 0; i < NUM_PC_SENSORS; i++) {
            float pc_voltage = read_ADC_value(pcChannels[i]) * (VREF /
ADC_MAX_VALUE);
            if (pc_voltage > DAY_NIGHT_THRESHOLD) {
                isDayDetected = true;
                break;
            }
        }

        LightMode newLightMode = isDayDetected ? MODE_DAY : MODE_NIGHT;

        if (newLightMode != currentLightMode) {
            currentLightMode = newLightMode;
            needsCalibration = true;
        }
        lastCheck = currentTime;
    }
}

void SystemClock_Config(void) {
    RCC_OscInitTypeDef RCC_OscInitStruct = {0};
    RCC_ClkInitTypeDef RCC_ClkInitStruct = {0};

    __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();
    __HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_SCALE1);
}

```

```

RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSE;
RCC_OscInitStruct.HSEState = RCC_HSE_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSE;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 8;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 336;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 7;
if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}

RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_CLOCKTYPE_SYSCLK
                              |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_PCLK2;
RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_PLLCLK;
RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYSCLK_DIV1;
RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV4;
RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV2;

if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_LATENCY_5) != HAL_OK)
{
    Error_Handler();
}
}

void MX_GPIO_Init(void) {
    __HAL_RCC_GPIOD_CLK_ENABLE();
    GPIO_InitTypeDef g_buttons = { GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2, GPIO_MODE_INPUT,
    GPIO_PULLUP, GPIO_SPEED_FREQ_LOW, 0 };
    HAL_GPIO_Init(GPIOD, &g_buttons);

    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();
    GPIO_InitTypeDef ga_pc = { GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3|GPIO_PIN_4,
    GPIO_MODE_ANALOG, GPIO_NOPULL, GPIO_SPEED_FREQ_LOW, 0 };
    HAL_GPIO_Init(GPIOC, &ga_pc);

    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    GPIO_InitTypeDef ga_pd_a = { GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_2|GPIO_PIN_3|GPIO_PIN_4|
    GPIO_PIN_5|GPIO_PIN_6|GPIO_PIN_7,
    GPIO_MODE_ANALOG, GPIO_NOPULL, GPIO_SPEED_FREQ_LOW,
    0 };
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &ga_pd_a);

    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();
    GPIO_InitTypeDef ga_pd_b = { GPIO_PIN_0|GPIO_PIN_1, GPIO_MODE_ANALOG,
    GPIO_NOPULL, GPIO_SPEED_FREQ_LOW, 0 };
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &ga_pd_b);

    GPIO_InitTypeDef ga_pd_c0 = { GPIO_PIN_0, GPIO_MODE_ANALOG, GPIO_NOPULL,
    GPIO_SPEED_FREQ_LOW, 0 };
    HAL_GPIO_Init(GPIOC, &ga_pd_c0);
}

void MX_I2C1_Init(void) {
    hi2c1.Instance = I2C1;
    hi2c1.Init.ClockSpeed = 400000;
    hi2c1.Init.DutyCycle = I2C_DUTYCYCLE_2;
    hi2c1.Init.OwnAddress1 = 0;
    hi2c1.Init.AddressingMode = I2C_ADDRESSINGMODE_7BIT;
    hi2c1.Init.DualAddressMode = I2C_DUALADDRESS_DISABLE;

```

```

hi2c1.Init.OwnAddress2 = 0;
hi2c1.Init.GeneralCallMode = I2C_GENERALCALL_DISABLE;
hi2c1.Init.NoStretchMode = I2C_NOSTRETCH_DISABLE;
if (HAL_I2C_Init(&hi2c1) != HAL_OK) {
    Error_Handler();
}
}

void ADC_Init(void) {
    __HAL_RCC_ADC1_CLK_ENABLE();
    hadc1.Instance = ADC1;
    hadc1.Init.Resolution = ADC_RESOLUTION_12B;
    hadc1.Init.ScanConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.ContinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.ExternalTrigConvEdge = ADC_EXTERNALTRIGCONVEDGE_NONE;
    hadc1.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;
    hadc1.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;
    hadc1.Init.NbrOfConversion = 1;
    hadc1.Init.DMAContinuousRequests = DISABLE;
    hadc1.Init.EOCSelection = ADC_EOC_SINGLE_CONV;
    if (HAL_ADC_Init(&hadc1) != HAL_OK) {
        Error_Handler();
    }
}

void Error_Handler(void) {
    __disable_irq();
    while(1);
}

```


Додаток В
Перелік елементів

Перш. викорис.		Поз. позначення	Найменування					Кіл.	Примітка				
		Конденсатори											
		C1-C10	50v 20 pF					10					
		C11	50v 100 nF					1					
		C12	16v 10uF					1					
		C13-C16	50v 10 pF					4					
		Діоди											
		D1-D10	BPW34F					10					
		D11-D14	BPW34V					4					
		Додат. №		Дроселі									
L1	100uГн					1							
Дисплеї													
OLED1	SSD1306					1							
Резистори													
R1-R10	220 кΩ, ±1 %, 0.125 W, 0805 RC0805FR-07220KL					10							
R11-R14	100 кΩ, ±1 %, 0.125 W, 0805 RC0805FR-07100KL					4							
Кнопки													
S1-S3	Omron B3F-1000					3							
				Мікросхеми									
		U1	STM32F407VET6					1					
		U2-U8	MCP602 I/P					7					
Підпис і дата													
Інв. № дцдл.													
Зам. інв. №													
Підпис і дата													
Інв. № ориг.		Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КС КРБ 123 213.00.00 ПЕ						
		Розроб.	Лаврищук Ю.О.				Комп'ютеризована система виявлення направленою лазерного випромінювання Перелік елементів				Літ	Аркуш	Аркушів
		Перевір.	Тили Є.В.								н		
		Консульт.									ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
		Н. контр.	Луцик Н.С										
		Зав. каф.	Осухівська Г.М										